

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
LISTE DES FIGURES	ii
LISTE DES CARTES	ii
LISTE DES TABLEAUX	iv
LISTE DES ACRONYMES	v
LISTE DES ANNEXES	vi
INTRODUCTION	1

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

Chapitre I- Généralités sur le cycle de l'eau	2
Chapitre II- Généralités sur les aquifères	5
Chapitre III- Présentation générale de la zone d'étude	11

DEUXIEME PARTIE : METHODOLOGIES ET MATERIELS

Chapitre IV- Observations géologique et matériels	24
Chapitre V- Méthodes et matériels géophysiques	31

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Chapitre VI - Résultats et interprétations dans chaque fokontany	50
Chapitre VII - Synthèses des résultats	62

CONCLUSION	74
-------------------------	----

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES	75
------------------------------------------------------------	----

ANNEXES	77
----------------------	----

RESUME	
---------------	--

Liste des figures

Figure 1: Diagramme de phase de l'eau	2
Figure 2: Cycle de l'eau	4
Figure 3: Aquifère fluvatile.....	6
Figure 4: Aquifère Karstique.....	7
Figure 5: Nappe libre.....	8
Figure 6: Nappe captive	8
Figure 7: Aquifère à nappe semi-captive	9
Figure 8: Les différentes nappes d'eau dans le sous-sol.....	10
Figure 9: Localisation géographique de la région Androy.....	11
Figure 10 : Les quatre districts de la Région Androy	12
Figure 11: Localisation de la commune Beanantara, (échelle 1/100 000)	13
Figure 12: Variation mensuelle de la précipitation par rapport à Antananarivo.....	14
Figure 13: Variation mensuelle des températures maximales.....	15
Figure 14: Carte du réseau hydrographique de la région d'Androy	16
Figure 15: Carte de la végétation de la région d'Androy.....	17
Figure 16 : Carte du sol de la région d'Androy	19
Figure 17 : Carte géologique de la région d'Androy	22
Figure 18: Formation géologique de Beanantara	23
Figure 19 : Carte des altitudes de la région d'Androy	24
Figure 20: Schéma hydrogéologique de la région Androy	25
Figure 21: Photo aérienne à Anjiky	27
Figure 22: Linéament à Anjiky.....	28
Figure 23: Coupe géologique à Anjiky.....	29
Figure 24 : Coupe géologique à Beanantara Sud	30
Figure 25: Coupe géologique à Ankilikira	30
Figure 26: Coupe géologique à Tanandava.....	31
Figure 27: Un GPS	34
Figure 28: Une boussole.....	34
Figure 29: Un stéréoscope.....	34
Figure 30: une carte topo à l'échelle 1/100 000	35
Figure 31: Dispositif à quatre électrodes.....	37
Figure 32: Représentation du panneau électrique et niveaux d'acquisition de données	39
Figure 33: configuration du dispositif de Wenner	40
Figure 34: Représentation de la sensibilité Wenner	40
Figure 35: Dispositif de Schlumberger	41
Figure 36: Sondage carré.....	43
Figure 37: Principe du sondage TDEM.....	44
Figure 38: Principaux dispositifs de mesure en TDEM.....	45
Figure 39: Principe de mesure en TDEM.....	47
Figure 40: Résistivimètre Syscal R2	48
Figure 41: Présentation de l'acquisition des données	50

Figure 42: Représentation des blocs et des points de mesure	51
Figure 43: Organigramme simplifié de traitement du programme	52
Figure 44: Coupe géoélectrique ou pseudo-section	53
Figure 45: Plan de masse des emplacements des mesures géophysiques	55
Figure 46: Courbe de sondage électrique au point P1 à Anjaky	56
Figure 47: Coupe géoélectrique au point P1 Anjaky	57
Figure 48: Coupe géoélectrique au point P2 Anjaky	57
Figure 49: Plan de masse des emplacements des mesures géophysiques	59
Figure 50: Coupe Géoélectrique Beanantara Sud	60
Figure 51: Coupe géoélectrique Beanantara Sud	61
Figure 52: Coupe géoélectrique au point P2	61
Figure 53: Plan de masse des emplacements des mesures géophysique	62
Figure 54: courbe de sondage électrique au site Ankilikira	63
Figure 55: Coupe géoélectrique n°1 au site Ankilikira	64
Figure 56: Coupe géoélectrique n°2 au site Ankilikira	64
Figure 57: Coupe géoélectrique n°3 au site Ankilikira	64
Figure 58: Plan de masse des mesures géophysiques.....	65
Figure 59: Coupe géoélectrique n°1 Tanandava	66
Figure 60: Coupe géoélectrique n°2 Tanandava	66
Figure 61: Coupe géoélectrique n°3 Tanandava	66
Figure 62: courbe TEDM à Anjaky.....	VI
Figure 63: Courbe TEDM obtenu à Beanantara Sud	VII
Figure 64: Courbe TEDM obtenu à Ankilikira	VIII

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition et densité de population par District – Superficie par District

Tableau 2 : caractéristiques du point proposé P1 et P2 à Anjaky

Tableau 3 : caractéristiques du point proposé P1 à Beanatara sud

Tableau 4 : Caractéristiques du point proposé P1 à Ankilikira

Liste des acronymes

BRGM : Bureau de Recherches Géologique et Minières

Cm : Centimètre

ETR : Evapotranspiration Réelle

ETP : Evapotranspiration

GPS: Global Position System

Km : Kilomètre

L : Longueur

ml: mètre linéaire

m : Mètre

RMS: Root-Mean-Squared

TDEM: Time Domain Electro-Magnetism

TVA : Taxe sur la Valeur Ajoutée

U : Unité

Liste des annexes

ANNEXE I : Récapitulation des caractéristiques des points d'eau identifiés dans les Communes BEANANTARA et MAROALOKA.

ANNEXE II : Les résultats des sondages TDEM sur chaque site.

ANNEXE III : Planches photo.

INTRODUCTION GENERALE

L'eau recouvre 72 % de la surface du globe, la terre est appelée la planète de l'eau. L'eau se présente sous différents aspects, que ce soit l'eau de surface, l'eau souterraine ou l'eau de pluie, elle est indispensable à l'être vivant et la vie sur terre mais surtout au développement.

Malgré son abondance sur notre planète, elle est très mal répartie. Elle peut être source de développement quand elle est abondante mais dans les régions où elle est absente, elle peut causer de grave problème de sécheresse, de migrations humaines et même source de conflit.

La région Androy n'échappe pas à ce problème de sécheresse ce qui cause la raréfaction de l'eau. Le problème qui se pose est que la population locale doit parfois parcourir des kilomètres avant de trouver un point d'eau qui est pour la plupart du temps non potable.

Dans le cadre de l'alimentation en eau potable un projet en collaboration avec l'UNICEF, a vu le jour dans la commune de Beanantara, district d'Ambovombe. Ce projet consiste à détecter par les méthodes géophysiques et hydrogéologique la présence de nappe aquifère dans quatre fokontany de cette commune.

Pour cette étude le traitement des données à partir des résultats des travaux géophysiques et l'interprétation des données hydrogéologiques nous a permis de réaliser ce thème de mémoire qui s'intitule : « **DETECTION ET CARACTERISATION PAR LES OBSERVATIONS GEOLOGIQUES ET METHODES GEOPHYSIQUES DES NAPPES AQUIFERES DANS LA COMMUNE DE BEANANTARA, DISTRICT D'AMBOVOMBE, REGION ANDROY** » dont le but est de détecter la présence de nappe aquifère non loin du village afin d'installer des puits de forage, et ensuite pour être utilisé comme source d'alimentation en eau potable pour les habitants de chaque village.

La méthodologie suivante a été adoptée pour la réalisation de ce travail :

- ✚ La consultation des documents concernant la zone d'étude ;
- ✚ La descente sur le terrain pour des enquêtes sur le site d'étude ;
- ✚ La prospection géophysique, par sondage électrique : panneau électrique ; et par sondage électromagnétique ;
- ✚ Le traitement des données ;
- ✚ L'élaboration de la rédaction.

Pour bien mener à terme ce travail, cet ouvrage sera divisé en trois grandes parties :

- ✚ La première traite les généralités, qui aborde la généralité du cycle de l'eau, la généralité des aquifères et enfin la présentation générale de la zone d'étude ;
- ✚ La deuxième partie décrit les méthodologies et matériels adoptés ;
- ✚ La troisième partie parlera des résultats et des interprétations.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

CHAPITRE I- GENERALITES SUR LE CYCLE DE L'EAU

Entre terre et ciel, la même eau est en circulation permanente depuis des milliards d'années. Apparue il y a 3 à 4 milliards d'années, l'eau est presque aussi ancienne que la Terre. Depuis, son volume est resté globalement stable. C'est toujours la même eau qui circule et se transforme en permanence dans l'atmosphère, à la surface et dans le sous-sol de notre Terre.

1- Généralités sur l'eau

L'eau est un des éléments fondamentaux de notre planète et elle est présente partout autour de nous sous des formes très variées. L'eau souterraine représente 30% des réserves d'eau douce mondiale (De Marsily G, 2004).

Dans la nature, on peut trouver l'eau dans trois états différents : Solide, liquide et gazeux.

- Solide : neige et glace ;
- Liquide : eau pure ou chargée en solutés ;
- Gazeux : à différents degrés de pression et de saturation.

2- Propriétés physiques de l'eau

L'eau est composée de molécule rigide et liaison hydrogène dont la masse volumique est de $999,8 \text{ kg/m}^3$ à 0°C et $958,4 \text{ kg/m}^3$ à 100°C (maximale à $3,98^\circ\text{C}$, $999,972 \text{ kg/m}^3$).

Le changement de phase de l'eau dépend essentiellement de la température et de la pression mais aussi du degré de pollution de l'atmosphère. La figure suivante (figure 1) représente le diagramme de phase de l'eau.

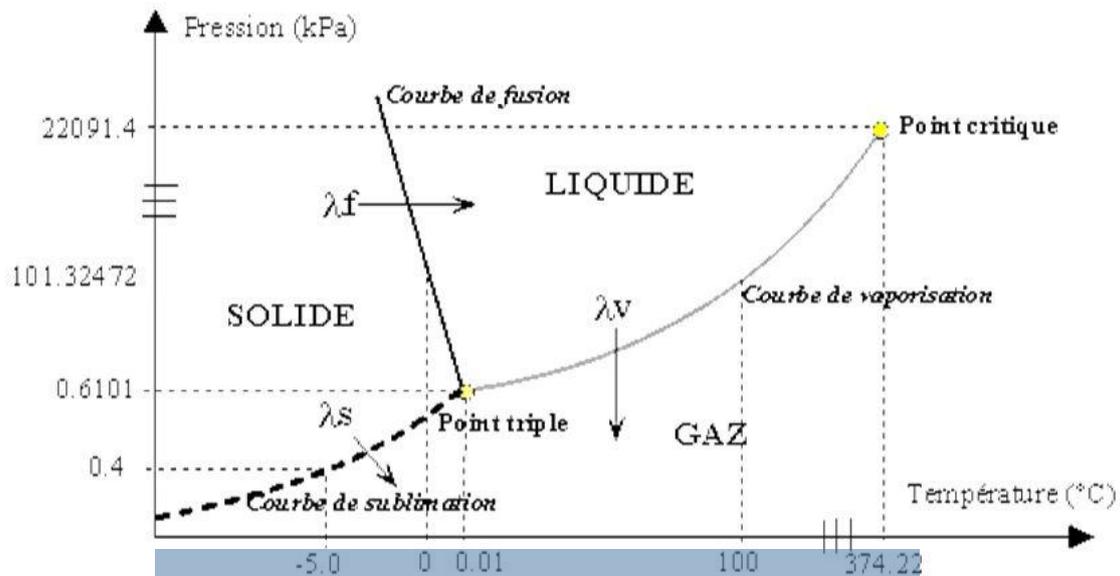


Figure 1: Diagramme de phase de l'eau

Source : De Marsily 2004

(1Pa=1Nm², 1bar=105Pa=760mm, 1atm=101 325Pa, appareil manomètre)

Point critique : sur les diagrammes et dans les équations traduisant le comportement de la matière, est un point caractérisé par la température et la pression qui correspondent à un changement de l'état physique d'une substance.

3- Origine des eaux souterraines

- **Eaux météoriques** : la plupart des eaux souterraines ont une origine météorique, c'est-à-dire provenant de précipitations (pluie, neige) et de leur infiltration dans le sous-sol.
- **Eaux connées** : ce sont les eaux (souvent salées) que l'on trouve en profondeur dans la croûte terrestre (à partir de 1 à 2 Km). Elles sont dérivées de réservoirs d'eau météoriques qui ont réagi avec les roches environnantes.
- **Eaux juvéniles** : ce sont des eaux libérées directement par des processus magmatiques en profondeur, elles sont difficilement distinguables des eaux situées en profondeur.

4- Composants du cycle de l'eau

Quand on parle de cycle de l'eau, plusieurs processus complexes et variés sont mis en jeu dont : l'évapotranspiration (lacs, forêts, rivière, landes, zones humides), précipitation (neige, pluie), infiltration (karst, nappes), évaporation (océan, mers), l'écoulement souterrain, le ruissellement. Le soleil est le moteur essentiel dans ces divers mécanismes. La précipitation est égale à : $P = \sum I + R + E$ (I : infiltration ; R : ruissellement ; E : évaporation).

La figure 2 ci-après montre le cycle de l'eau :

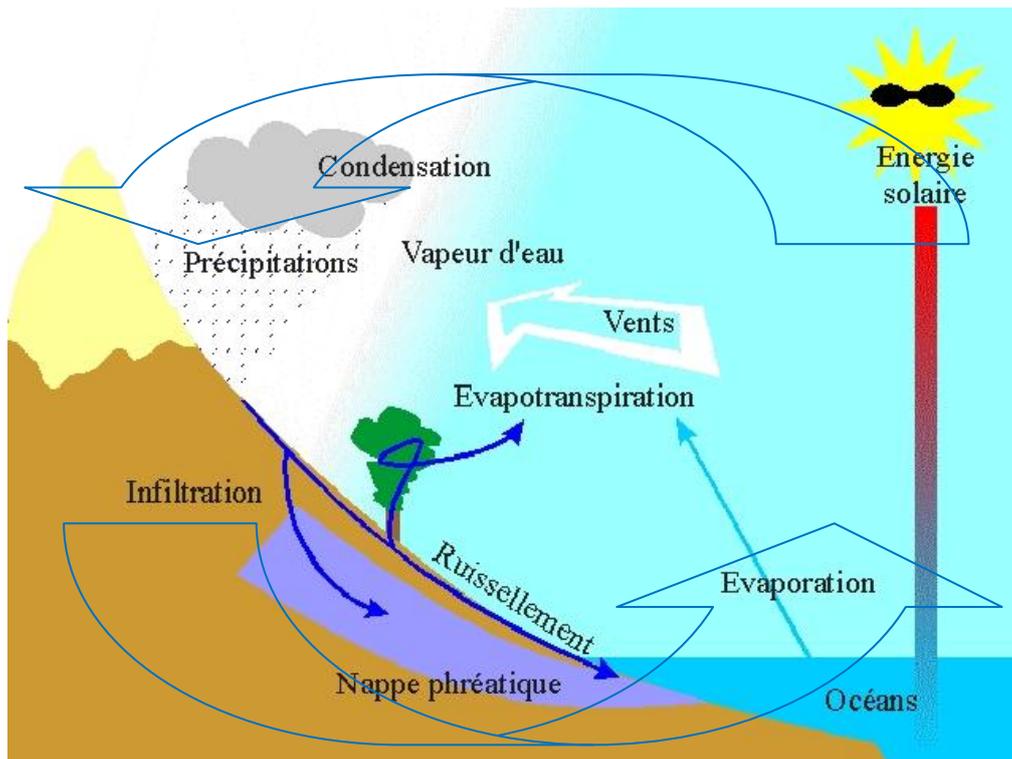


Figure 2: Cycle de l'eau

Source : De Marsily (2004)

5- Mécanisme de mouvement de l'eau

Les mécanismes des mouvements de l'eau dans la nature sont déterminés par l'énergie thermique solaire, la gravité, l'attraction solaire, l'attraction lunaire, la pression atmosphérique, les forces intermoléculaires, les réactions chimiques et nucléaires et les activités biologiques, et enfin les activités humaines (P. Renard, 2002).

-L'énergie thermique du soleil produit une circulation de l'air dans l'atmosphère, en raison du fait que la surface terrestre est réchauffée de façon inégale.

-La force de gravité est responsable des phénomènes de précipitations, de ruissellement, d'infiltration et de courant de convection.

-L'attraction solaire et lunaire est à l'origine des marées et des courants marins

-Les différences de pression atmosphérique occasionnent le déplacement horizontal de l'air. Les vents sont eux-mêmes responsables du mouvement des couches superficielles dans les lacs et les océans.

-Les forces intermoléculaires dans le sol provoquent les phénomènes capillaires ainsi que la viscosité et influencent donc la vitesse d'écoulement.

-L'eau est une des composantes de plusieurs réactions chimiques organiques ou inorganiques. Un autre type de transformation de l'eau est le processus physiologique qui se produit dans l'organisme animal. Finalement, l'homme intervient directement sur les processus de mouvement et de transformation de l'eau. Son action peut conduire à une meilleure gestion, mais elle peut aussi causer de nombreux problèmes, notamment en perturbant le cycle hydrologique, tant au niveau quantitatif que qualitatif.

CHAPITRE II- GENERALITES SUR LES AQUIFERES

L'hydrogéologie est la science qui étudie l'eau souterraine, elle s'occupe de la distribution et de la circulation de l'eau souterraine dans le sol et les roches, en tenant compte de leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface.

1- Définition de l'aquifère

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

L'aquifère est homogène quand il y a une perméabilité d'interstices (sables, graviers) ; la vitesse de percolation y est lente. Il est hétérogène avec une perméabilité de fissures (granite, calcaire karstique) ; la vitesse de percolation est plus rapide.

L'aquifère est un système hydrodynamique qui est identifié par cinq ensembles :

- Un réservoir ;
- Des processus internes ou mécanismes hydrodynamiques, hydrochimiques et hydrogéologiques ;
- Une séquence du cycle de l'eau ;
- La variabilité des caractéristiques dans l'espace (contexte géologique) ;
- Des conditions de temps ; l'aquifère est comparable à un gisement minier dont le minerai est l'eau qui est plus ou moins non renouvelable.

2- Différents types d'aquifère

2-1- Aquifères fluviatiles

L'eau s'écoule dans les matériaux déposés par un cours d'eau ancien ou actuel (généralement alluvions). Le substratum imperméable en dessous de ces matériaux est formé soit par de la roche compacte en dessous de la formation alluviale perméable, soit par des dépôts d'argiles dans les alluvions sous forme de lentilles. Il y a possibilité d'étagement de lentilles, sans échange d'eau entre les compartiments. Dans ce cas, on aura plusieurs aquifères superposés avec des caractéristiques physiques et chimiques différentes.

Les types de sources que l'on peut rencontrer en milieu fluviatile sont :

- *Les sources de débordement ou sources de trop plein*

La nappe libre affleure aux endroits où sa surface atteint le niveau du sol.

- *Sources artésiennes*

Elles existent uniquement en cas de nappes captives ou en charge, la surface piézométrique se situe au-dessus du sol, l'eau est contrainte de circuler en sous-sol vu la présence d'un toit imperméable de limons argileux ou d'argile par exemple. Une conduite traversant la couche imperméable implique donc une source jaillissante. Dans les aquifères fluviatiles, on distingue facilement les zones de ruissellement, les zones d'accumulation (infiltration), et les zones de captivités ainsi que les zones sous charge.

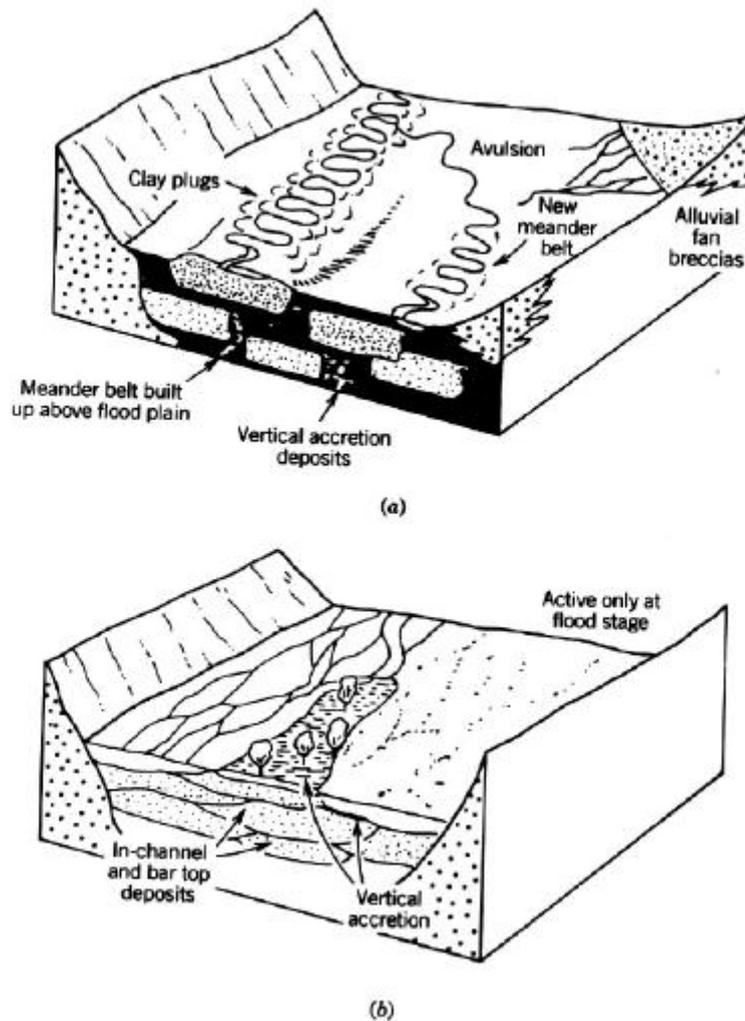


Figure 3: Aquifère fluviale

Source : François Renard (2004)

2-2- Aquifère karstique

Les régions karstiques possèdent une géomorphologie caractéristique : rareté ou faible épaisseur des sols : présence de gorge, de dolines, grottes, gouffres, pertes, résurgences et surtout d'un réseau de vides souterrains plus ou moins développés. Le drainage des eaux est géré en majeure partie par ces derniers, ce qui explique souvent la quasi-absence du réseau de drainage superficiel : ruisseau, rivière, etc.

Les types de sources en milieu karstique sont des eaux circulant dans le massif et pouvant émergé par des sources à forts (résurgences) ou à faibles (sources) débit, à n'importe quelle hauteur par rapport au niveau géographique. Des cuves à hauteur modérées, des alimentations souterraines (invisible) des nappes alluviales s'écoulant au fond des vallées parfois profondément entaillées (canions) sont possibles.

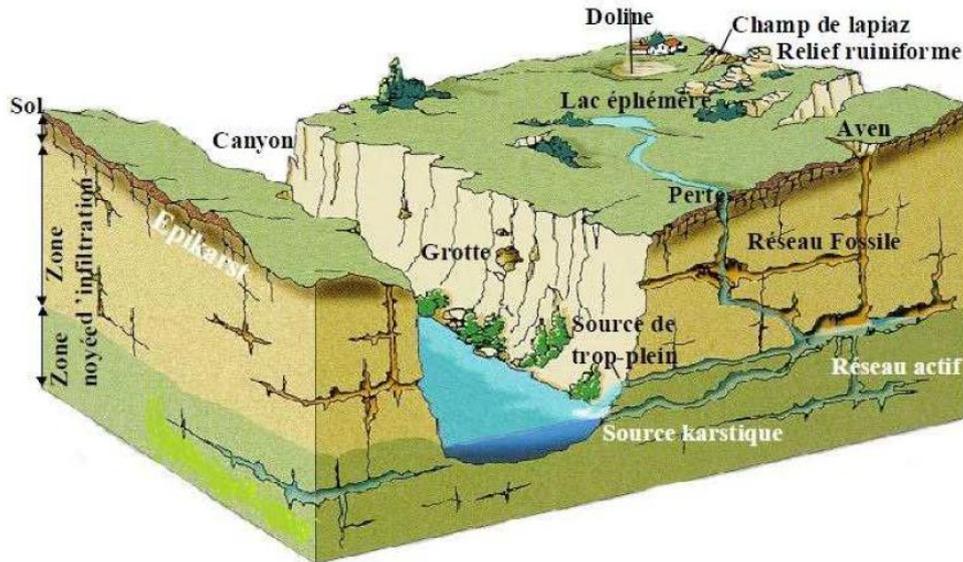


Figure 4: Aquifère Karstique

Source : *BEAUCHAMP (2003)*

2-3- Les milieux fissurés

L'aquifère est formé par des roches compactées fracturées. On peut distinguer deux types d'écoulement dans ces milieux fissurés :

- *Dans les systèmes à fissures courtes (courtes par rapports à l'échelle d'intérêt)*

Ils sont interconnectés avec un grand nombre statistiquement important de fissures à grande ouverture. Dans ce cas, les systèmes sont dits « homogènes » et se comportent donc tels les aquifères fluviaux.

- *Dans les systèmes à fissures longues*

Il s'agit de fissures longues par rapport à l'échelle d'intérêt qui ne sont que partiellement interconnectées et/ou présence de rares grands canaux. Ce genre de milieu fissuré est plus complexe et des moins prévisibles, les écoulements ne peuvent être prédits que très difficilement car on ne connaît généralement pas les chenaux principaux ou passe la majorité de l'eau. Elle peut s'écouler sur plusieurs niveaux dans des directions différentes.

3- Nappes

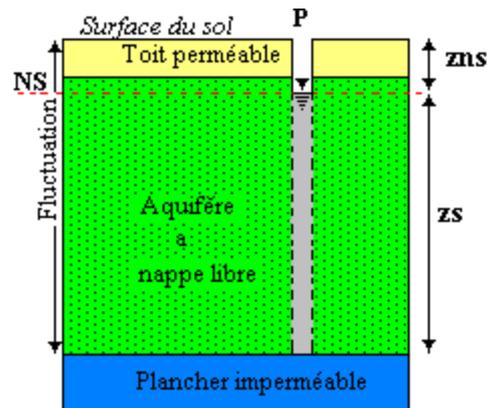
Par nappe, on entend la partie saturée en eau du sol, c'est-à-dire celle où les interstices entre les grains solides sont entièrement remplis d'eau, ce qui permet à celle-ci de s'écouler. Au-dessus, on peut trouver des terrains non saturés, dans lesquels les interstices contiennent aussi de l'air.

Au sens large, une nappe est une collection d'eau souterraine, ensemble de l'eau saturant une couche aquifère définie dans laquelle elle circule avec une composante horizontale prédominante.

3-1- Nappe libre

Une nappe libre est une nappe d'eau souterraine dont le niveau supérieur peut varier sans être bloqué par une couche imperméable supérieure. Elle circule sous un sol perméable, elle est généralement peu profonde (1-20 mètres) et sa surface est à la pression atmosphérique.

Les nappes libres sont contenues dans des roches poreuses (sable, craie, calcaire) qui peuvent contenir de 50 à 100 litres d'eau par mètres cubes.

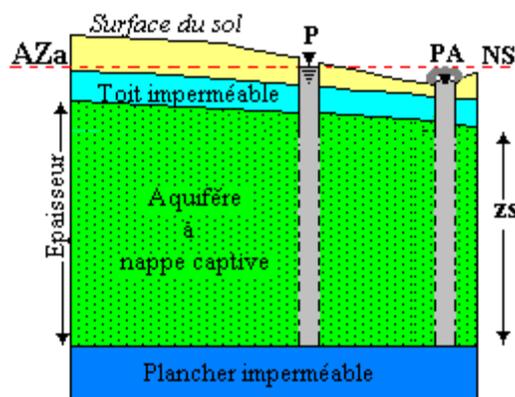


NS : Niveau statique ; P : Puits ou forage ; Zns : Zone non saturée ; Zs : Zone saturée

Figure 5: Nappe libre

3-2- Nappe captive

Une nappe captive est une nappe qui est surmontée par une formation peu perméable où l'eau est prisonnière entre deux couches qui est le substratum imperméable et le toit imperméable. L'eau y est généralement sous pression.



Aza : Altitude de la zone d'alimentation ; Ns : Niveau statique ; P : Puits ou forage ; PA : Puits ou forage artésien ; Zs : Zone saturée

Figure 6: Nappe captive

3-3- Nappe semi captive

C'est un aquifère reposant sur un substratum imperméable et sous un toit semi-perméable qui permet l'intercommunication avec la nappe de la couche hydrogéologique perméable susjacent. La surface piézométrique fluctue suivant la période de recharge ou de vidange par drainance descendante et ascendante.

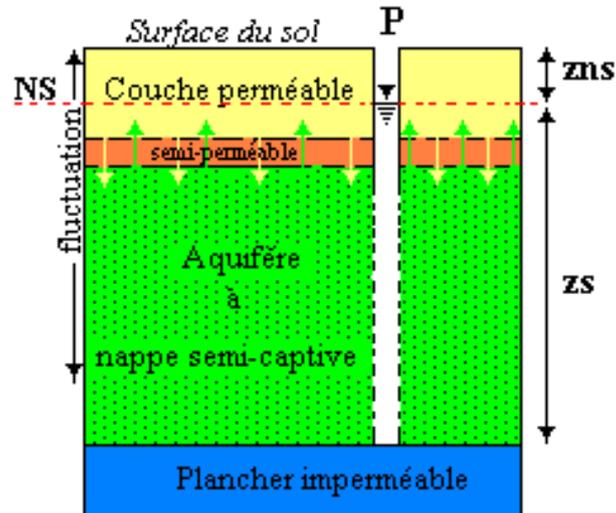
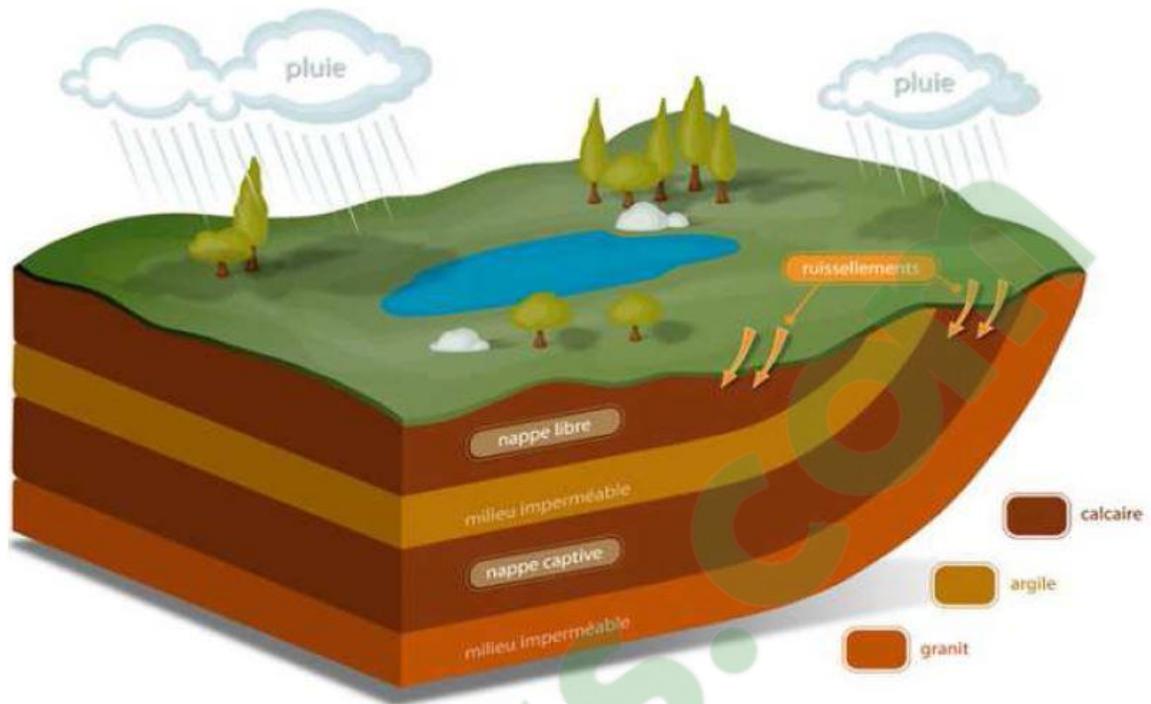


Figure 7: Aquifère à nappe semi-captive

NS : niveau statique ; P : puits de forage ; Zs : zone saturée ; Zns : zone non saturé.

La figure 8 montre les différentes nappes se trouvant dans le sous-sol :



Source :RENARD (2002)

Figure 8: Les différentes nappes d'eau dans le sous-sol.

4- Recharge des nappes

Lors d'une tombée de pluies, une grande partie se ruisselle avec une vitesse variable selon l'index hydrogéologique (pente du terrain, couverture végétale, géologie surface, profondeur du niveau statique, aménagement du sol). Une autre partie s'infiltrate dans le sous-sol. Si cette infiltration est efficace, elle alimente les nappes. Lorsque la nappe est chargée, l'eau s'écoule vers un exutoire pouvant être une source ou un cours d'eau déjà existant.

Les nappes libres et semi captives se rechargent directement par infiltration des eaux de pluies qui tombent sur le toit (pluies locales), celles qui sont captives en sont autrement (précipitations régionales, intercommunication des nappes voisines, ...). Il y a des cas où les eaux de pluies locales n'atteignent pas la nappe car le toit est imperméable, mais il existe une zone perméable, située à quelques kilomètres voir même à des centaines de kilomètres, reliée à l'aquifère permettant sa recharge.

CHAPITRE III- PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

Dans ce chapitre nous allons parler sur les points essentiels de notre zone d'étude car se sera très important lors de notre étude.

1- Localisation géographique

Située au Sud-Ouest de Madagascar, la Région Androy se trouve dans l'extrême Sud de Madagascar. Elle occupe le territoire compris entre les fleuves du Mandrare à l'Est et de Menarandra à l'Ouest. Elle est limitée au Nord par les contreforts montagneux des Hautes Terres Méridionales Bara et au Sud par l'Océan Indien et le Canal de Mozambique.

Son chef-lieu de région est Ambovombe qui se trouve à 1 000 km environ de la capitale de Madagascar. Elle est limitée à l'Est et au Nord par la région d'Anosy, par respectivement les districts d'Amboasary Atsimo et de Betroka, à l'Ouest par la région d'Atsimo Andrefana avec le district d'Ampanihy. Elle est composée de 51 communes avec 881 fokontany.

Elle est limitée par les coordonnées géographiques suivantes :

- latitude : entre 24°13' et 25°24' Sud ;
- longitude : entre 45°20' et 46°26' Est.

Elle couvre une superficie de 19 538 km², ce qui représente 3,33 % de la superficie totale de Madagascar.



Figure 9: Localisation géographique de la région Androy

Source : CREAM-FTM 2000.

La région Androy regroupe quatre Districts qui sont : Bekily, Beloha, Tsihombe et Ambovombe-Androy qui est le chef-lieu de Région. Ces quatre Districts sont représentés par la carte suivante.

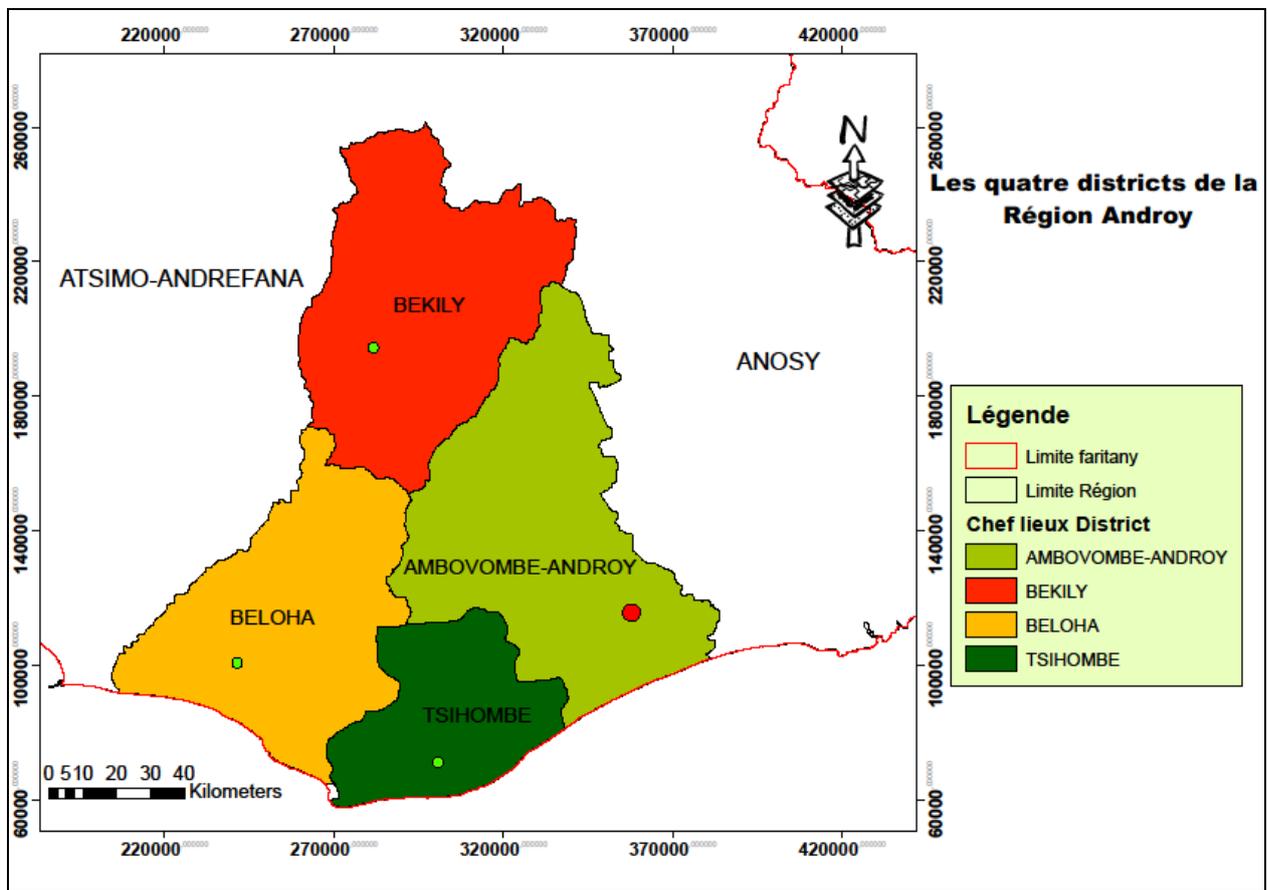


Figure 10 : Les quatre districts de la Région Androy

Source : BD 100, 2000.

Le tableau suivant montre la superficie des districts dans la Région Androy :

Tableau 1: Superficie des districts dans la Région Androy

Unité : Km ²	
Superficie en Km ²	District
6617	Ambovombe-Androy
5575	Bekily
6789	Beloha
3316	Tsihombe
22297	Ensemble de la région

Clicours.COM

1-1- Localisation de la commune Beanantara

La commune de Beanantara se trouve dans la partie Est du District d'Ambovombe. Elle appartient au bassin d'Amboasary et au depression d'Ampamolora.

Elle est composée par sept fokontany dont Beanantara Sud, Anjesty Beanantara, Ankilikira, Anjesty Tanandava, Maropia Nord, Soatsifa.

La figure 11 montre la localisation de la commune Beanantara :

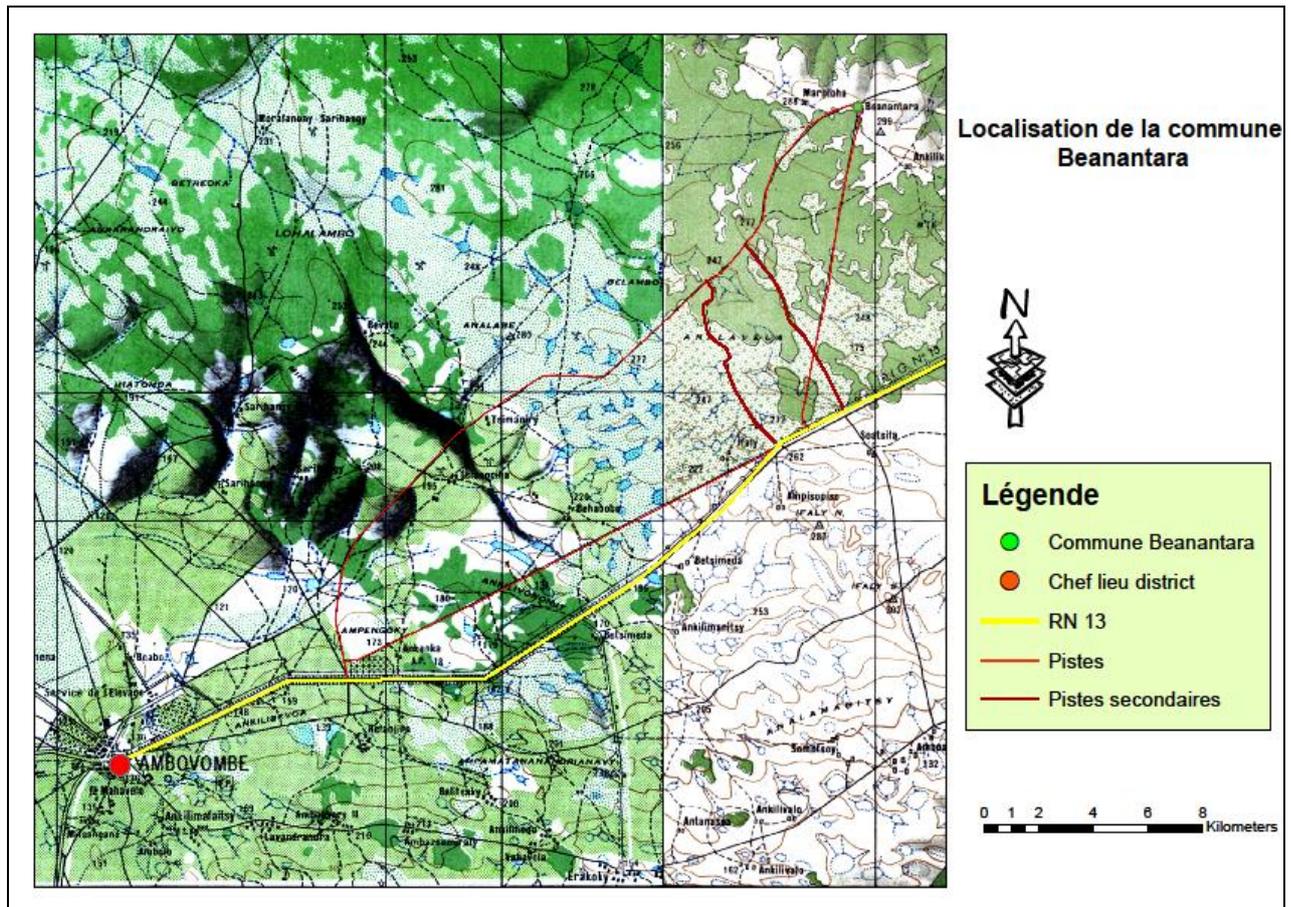


Figure 11: Localisation de la commune Beanantara, (échelle 1/100 000)

Source : FTM 2000.

2- Le climat

Le climat de la zone d'étude est conditionné par sa position géographique, la forme du relief, l'influence maritime et le régime du vent.

2-1- Précipitations

La connaissance de l'évolution pluviométrique permet de bien comprendre l'hydrodynamisme de la nappe de la zone d'étude. Les données climatologiques proviennent de la direction générale de la météorologie. Elles sont les moyennes normales mensuelles des précipitations sur une période allant de 1961 à 1996.

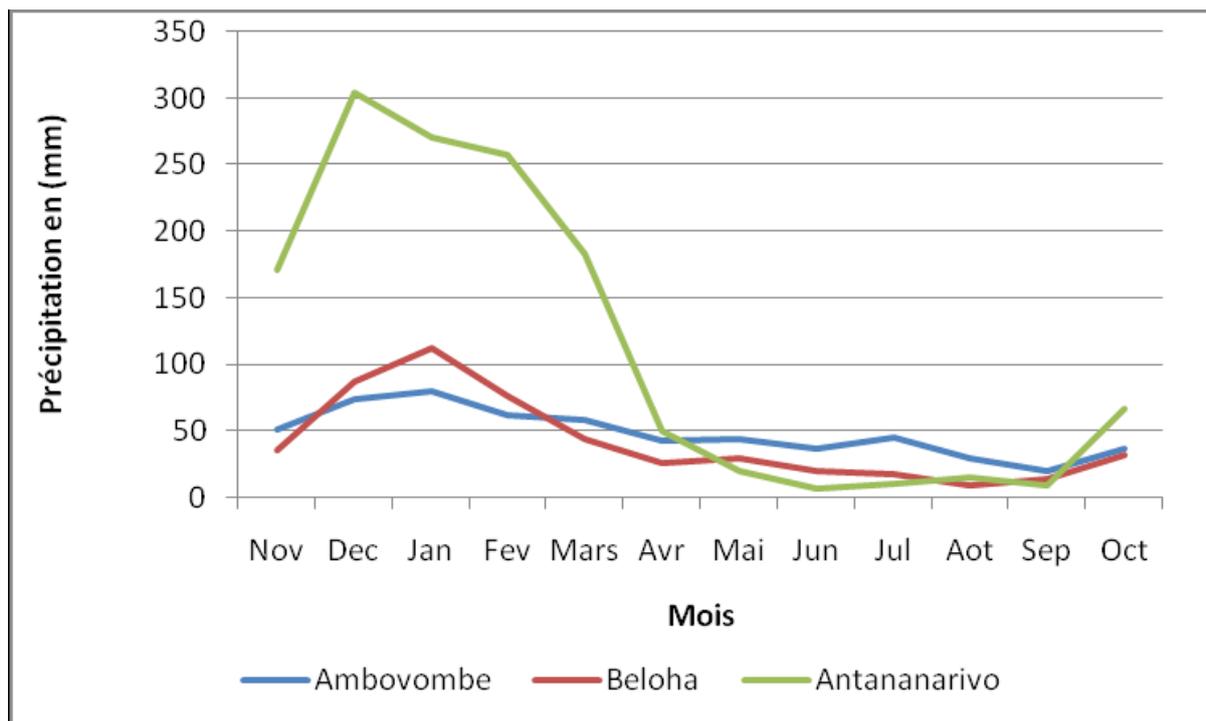


Figure 12: Variation mensuelle de la précipitation par rapport à Antananarivo.

Source : direction générale de la météorologie

Cette courbe montre que la région de l'Androy connaît une précipitation maximale pendant la saison humide (Novembre-Avril). La valeur maximum peut atteindre 111 mm en Janvier. La saison sèche (de mai jusqu'en septembre), la pluviométrie est faible et vaut 9 mm en Aout. La précipitation annuelle de la zone d'étude est de l'ordre de 536, 5mm.

Si on compare la pluviométrie de la région de l'Androy et celle d'Antananarivo sur la figure, on pourra conclure que la région d'étude connaît une précipitation très faible ; car à Antananarivo, les précipitations annuelles sont de l'ordre 1000mm.

2-2- Température

La température décroît à mesure que l'on pénètre dans les zones d'altitude.

La figure ci-après (figure 9) donne les variations de la température mensuelle. Les températures mensuelles varient de 19 °C à 34 °C. Le mois le plus froid est le mois de juillet, par contre il fait très chaud en décembre, janvier et février. La figure montre aussi que les mois caniculaires se confondent avec les mois pluvieux.

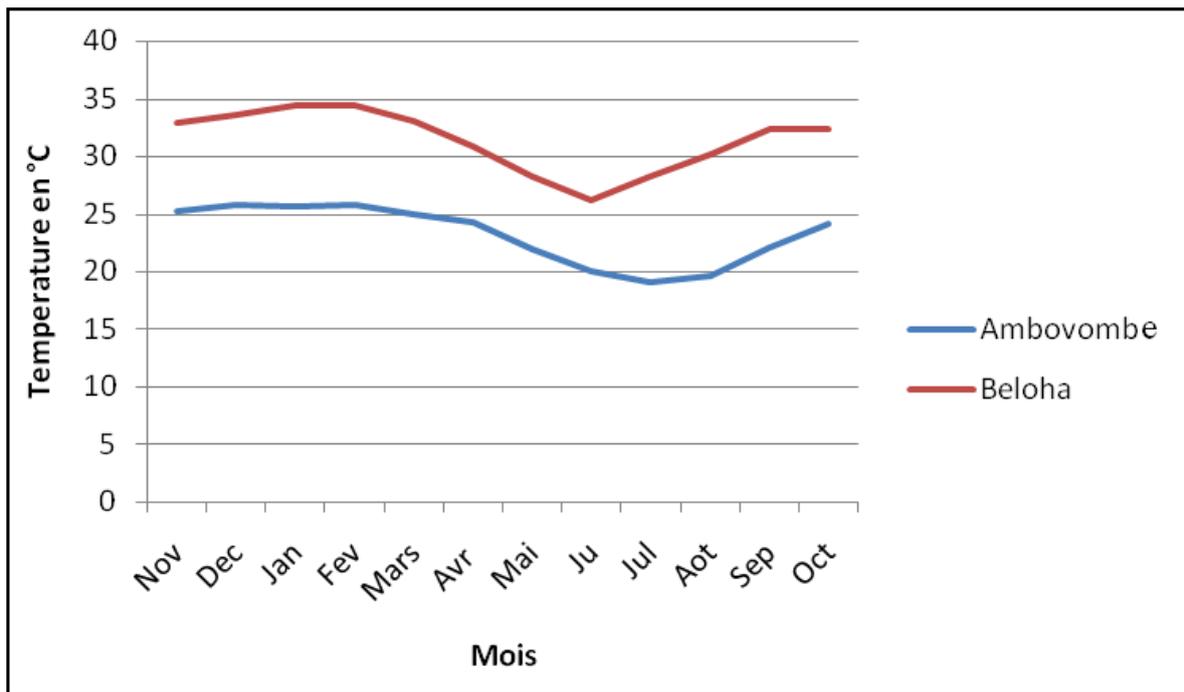


Figure 13: Variation mensuelle des températures maximales

Source :Direction générale de la météorologie

3- Réseau hydrographique

3-1- Fleuves et rivières

La Région Androy est drainée par trois grands fleuves issus du socle cristallin qui s'écoulent selon une direction globale Nord-Sud : Menarandra, Manambovo et Mandrare.

Le Menarandra : prend naissance à l'Ouest d'Isoanala, situé à environ 45 km au Nord de Beraketa dans le massif du Tsikoriry vers 800 m d'altitude. S'écoulant du Nord-Est vers le Sud-Ouest, il reçoit en rive gauche au niveau de Bekily, la Manantanana et, 30 km plus au Sud, la Menakompy. Il passe par Tranoroa et longe ensuite les limites Ouest des communes de Beloha et Marolinta jusqu'à son embouchure. D'une longueur totale de 270 km, dont 180 km traversant la région, le Menarandra draine un bassin versant d'une superficie de 8 350 km² et peut rester à sec pendant 5 mois sur 12. Ses nombreux petits affluents ne coulent que pendant la saison des pluies, seul son principal affluent, la Menakompy, conserve plus ou moins un écoulement permanent toute l'année.

Le Manambovo : d'une longueur totale de 165 km, prend sa source à 40 km au Nord d'Antanimora dans la zone Ouest d'Andalatosy vers 400 à 500 m d'altitude. Ses principaux affluents de la rive droite prennent aussi naissance dans la même zone : Andriambarotra, Sakavola et Andranomiteraka, tandis que la Lalany le rejoint plus au Sud. Le Menarandra qui draine un bassin versant de 4 450 km², s'écoule globalement depuis sa source selon une direction Nord-Sud avant de bifurquer Sud-Est au niveau de Tsihombe jusqu'à la mer. Pendant sept à huit mois, ces cours d'eau n'ont pas d'écoulement superficiel.

Le Mandrare, à partir de Ranomainty et son affluent l'Andratina, traversant les zones Est de Beraketa et Imanombo, longent la partie orientale de la région selon une direction globalement Nord-Sud jusqu'à la mer. Plusieurs petits affluents de la rive droite du Mandrare qui prennent naissance dans le Nord du district d'Ambovombe, s'écoulent globalement d'Ouest en Est : Sakamahaso, Ikonda, Besatra, Bemanda et Ikoroma. Ils drainent les eaux de pluies et sont pour la plupart à sec pendant la saison sèche.

Tous ces grands fleuves ne sont pas pérennes et sont réduits à un écoulement de surface quasi-nul à très faible en saison sèche (Mai à Septembre). Cependant, des sous-écoulements notables peuvent être observés en étiage. Leurs affluents n'ont d'écoulement superficiel que pendant une courte période de la saison des pluies. Et dans la zone cristalline, plusieurs petits cours d'eau ayant les caractères d'un noed sont temporaires : à sec pendant la majorité de l'année mais pouvant être inondés le temps d'un orage.

3-2- Lacs

A part le lac salé d'Ihodo, celui de Sihanapotsy (district de Tsihombe) et du lac d'eau douce Imonto (commune Imongy), les lacs de quelque importance n'existent pratiquement pas dans la région : seules des marres périodiques et les « ranovato » y sont présentes.

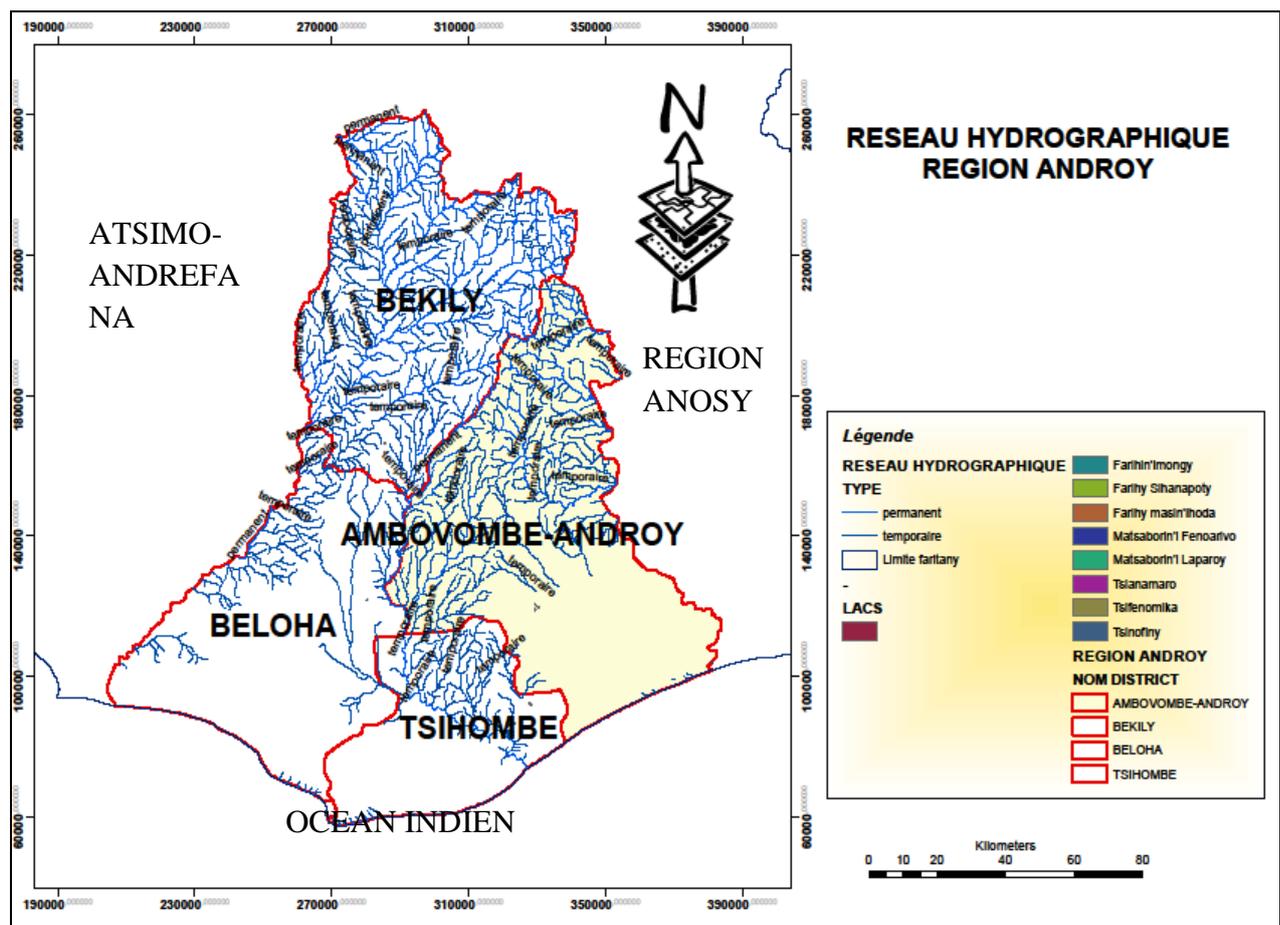


Figure 14: Carte du réseau hydrographique de la région d'Androy

Source : BD 100, 2000.

4- Végétation

La végétation originelle typique de l'Androy est le bush xérophile dit « roy » (*mimosa delicatula*) qui a donné à la région le nom Androy et à son peuple celui d'Antandroy. Ces fourrées sont classées parmi les écosystèmes les plus riches au monde avec des faunes et flores uniques (MAEP, 2003). Elles abritent les espèces les plus connus à Madagascar à savoir : le maki (*Lemur catta*), le sifake (*Propithecus v. verreauxi*), les tortues terrestres (*Geochelone radiata*, *pyxis arachnoides*) et plusieurs espèces d'oiseaux, de reptiles et d'amphibiens endémiques.

Par ailleurs, il faut noter la présence de forêts- galeries le long des cours d'eau, la présence d' « Ala fohy » ou forêts naines constituées de bonsaïs naturels.

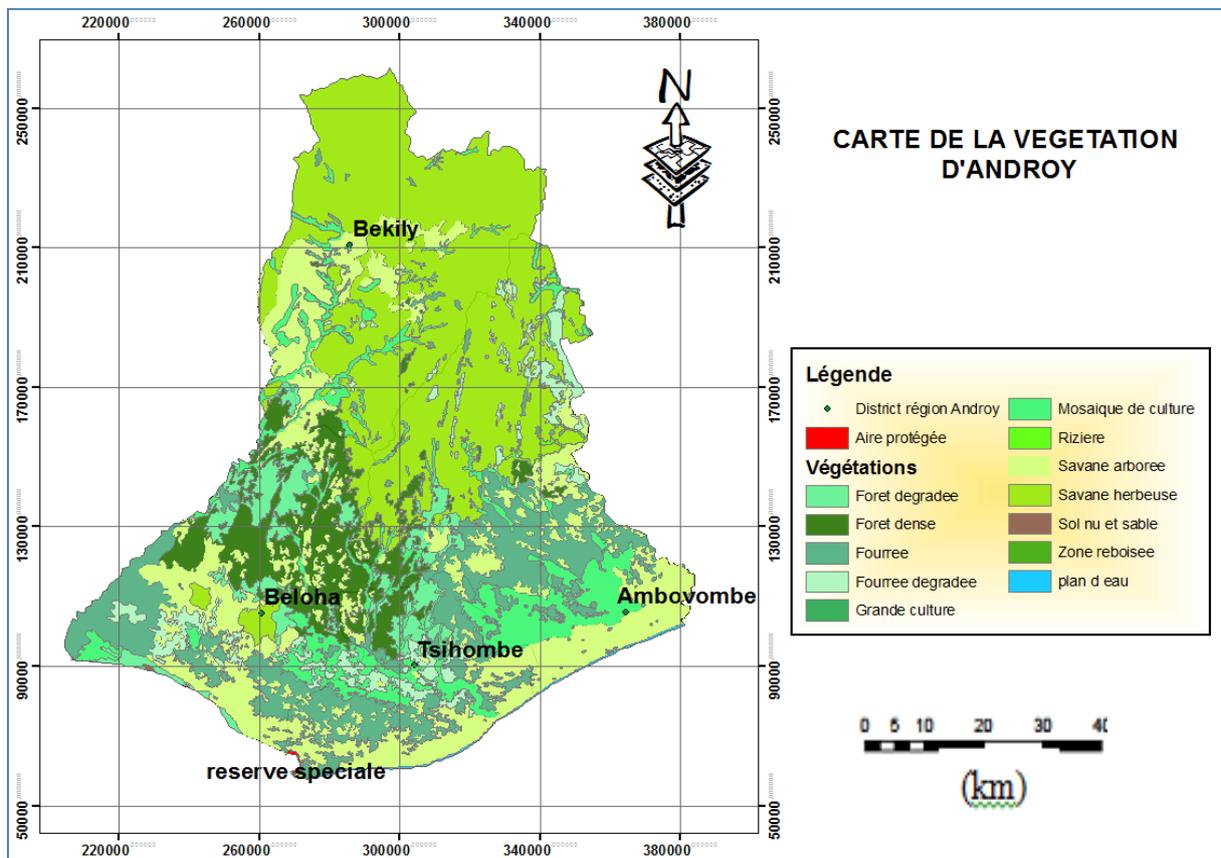


Figure 15: Carte de la végétation de la région d'Androy

Source : BD 100, 2000.

Les bonsaïs naturels sont caractérisés par une hauteur variable d'espèces de 2m de haut jusqu'aux petits arbres de 3 à 4m. La plus connue des euphorbes (plante qui supporte la sécheresse) est l'*Euphorbia Stenoclada* (famata) : elle a une grande importance en cas de grande sécheresse ; elle est utilisée comme substitut de boisson pour les zébus. Ensuite, on peut citer les espèces appartenant à la famille des Didiéracées : *Didiera*, *Alluaudia procera* (fantsilisé) utilisé pour la construction et comme bois de caisserie. Au sein de cette formation, on rencontre des baobabs comme *Andasoina Za* et *Fony*, *Alse Suzannae* (8 à 10m de hauteur), *Pachypodium* (Apocynacées) à troncs très charnus et gorgés d'eau. L'arbre tout

entier est recouvert d'épines. Toutes ces formations forestières sont également des sources de matières premières pour la pharmacopée traditionnelle et les produits naturels à usages multiples (pervenche, *Jatropha mahafaliensis* et *Jatropha curcas*, cactus, « fantiolotse », « vahogne » ou aloé, ricin, etc...y foisonnent).

4-1 Savane

Vers le Nord, on rencontre une savane arbustive à base de *Poupartia caffra* (Sakoa), à côté duquel est toujours associé *Flacourtia indica* (Lamoty) et le *Celastrus linéaris* (Tsingilofilo). La plaine côtière est couverte de végétations à base de *Stenotaphrum* et d'*Exonepus*. Ce sont des savanes et steppes à *Aristida*.

4-2 Pâturage

Les clairières du plateau du Karimbola sont occupées par du *Celastrus linéaris* tandis que sur le plateau de Tsivory, l'*Heteropogon contortus* domine. Les montagnes de l'Ivakoana et du Centre-Sud sont complètement dénudées, car ravagées annuellement par les feux de brousse.

4-3 Forêts

Les forêts primaires commencent à disparaître inexorablement, sur les montagnes anosyennes (MAEP, 2003). Sur la côte Est (sous-préfecture Taolagnaro), la forêt secondaire ombrophile se trouve en état de dégradation avancée par suite de l'action des hommes.

L'Androy et la moitié Nord se caractérisent par les feux de brousse annuels avant la saison des pluies (septembre à novembre). On y constate un défrichage systématique, par suite de la pression démographique et du surpâturage ainsi que de l'approvisionnement des villes en charbon. La couverture végétale est constituée par des savanes arbustives et herbeuses à base de *Poupartia Caffra* (Sakoa), *Tamarindus* (Kily), *Celastrus linéaris* (Tsingilofilo), *Flacourtia indica* (Lamoty), *Stéréospermum variable* (Mangarahara), *Dicona incona* (Peha), *Hyphaene shattom* (Satrana).

4-4- Sols

D'une façon générale, les sols sont particulièrement pauvres, peu ou pas humifères. Les sols ferrugineux tropicaux formés sur roches métamorphiques, couvrant de vastes surfaces, sont le plus souvent des sols squelettiques, superficiels, d'une faible valeur agricole et pastorale. De l'embouchure de la Menarandra, en passant par le Cap Ste Marie, jusqu'à proximité d'Antaritarika on observe des sols peu évolués sur roches sableuses. Du plateau Karimbola à Beloha, en passant par tout le Sud d'Ambovombe se trouve un complexe de sols ferrugineux tropicaux et sols rouges méditerranéens. Dans les sous-préfectures de Tsihombe vers le Nord se développe un complexe de sols ferrugineux tropicaux et peu évolués.

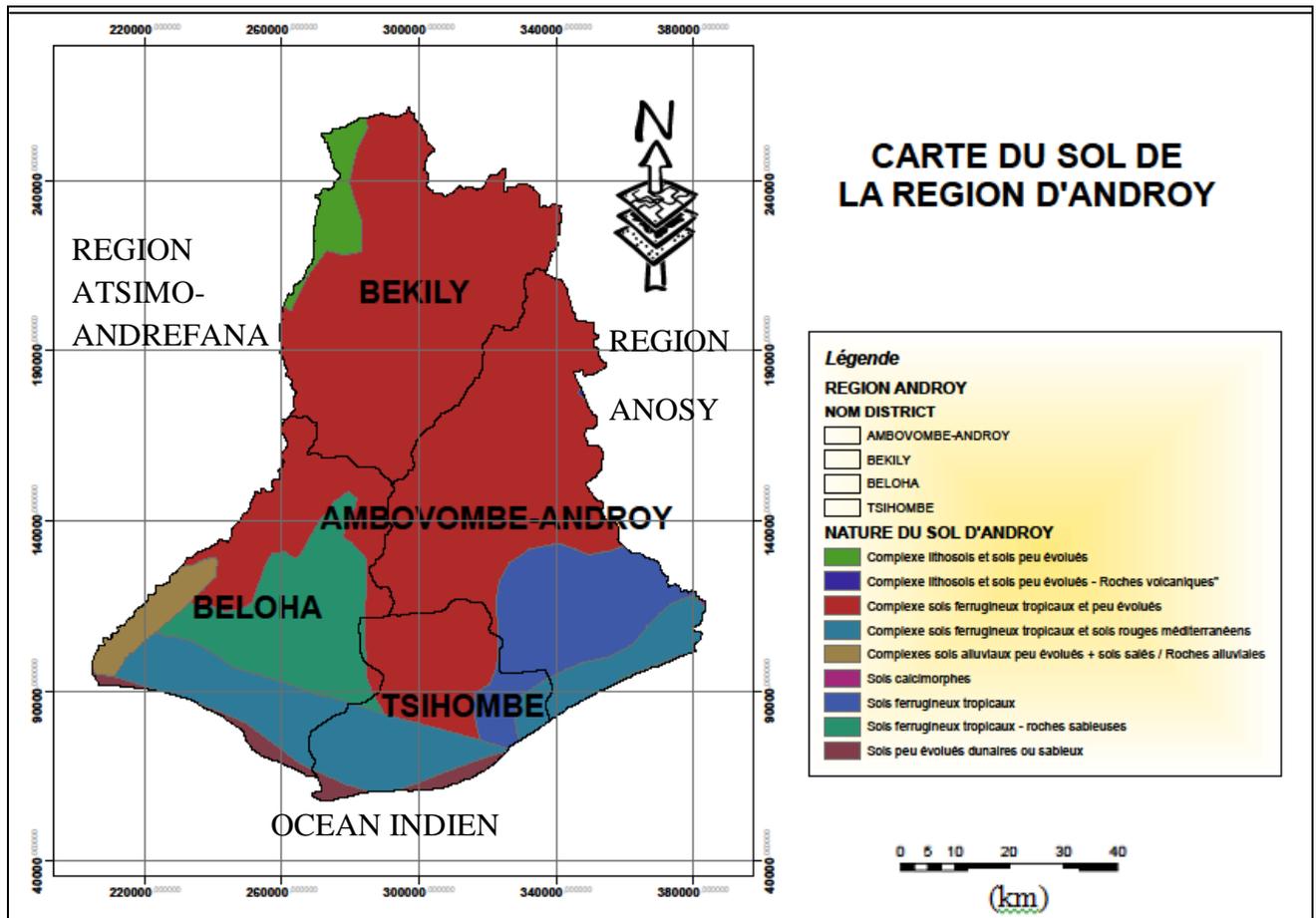


Figure 16 : Carte du sol de la région d'Androy

Source : BD 100, 2000.

Le long des rivières Mandrare et Menarandra les sols sont alluviaux et peu évolués plus ou moins hydromorphes. Dans le massif volcanique de l'Androy s'étendent des sols sur roches volcaniques. Les sables dunaires décalcifiés plus ou moins rubéfiés de la partie Sud font l'objet de remaniements éoliens. Bien que fragiles, à faible capacité de rétention et de faible teneur en matière organique, ils sont très cultivés car ils restent longtemps humides après les pluies. Les dunes anciennes côtières, bien que fragiles, sont tout de même très cultivées, car l'humidité atmosphérique du bord de la mer constitue un facteur favorable. Les sols sont très fragiles et sensibles à l'action mécanique du vent. Dans le cas de l'Androy un alizé du Sud-Est (vent dominant et desséchant) augmente considérablement l'évapotranspiration potentielle. Avec le climat semi-aride à aride (sauf dans la région de l'Anosy) le type de sol dispose d'une végétation assez spéciale.

En ce qui concerne le bassin de l'Androy, dans la zone sédimentaire, on a deux types de sols : le sable dunaire et le sable roux (hamena).

Dans la zone cristalline, seul 10% des superficies sont cultivables. Le sol rouge ferralitique et rocailleux domine. Les sols cultivables sont le sol argileux noir de bas fond et le sol argilo-sableux ocre des hauteurs.

5- Population

5-1- Taux d'accroissement démographique

La population totale est estimée en 2015 à 770 000 habitants, caractérisée par une population majoritairement rurale et jeune. Le taux d'accroissement démographique est de 2,7 %, la population doublera dans 25 ans si aucune mesure de planification familiale adéquate (Instat-monographie de la Région Androy - 2015).

La population est majoritairement Antandroy, avec la présence non-négligeable d'autres groupes ethniques : Antanosy, Mahafaly, Merina et Betsileo.

Le tableau suivant représente la Répartition et densité de population par District selon la superficie de chaque district :

District/Région	Nombre de communes	Population totale	Superficie Km ²	Densité de population au km ²
Ambovombe-Androy	19	368 852	6 617	40
Bekily	19	173 786	5 575	24
Beloha-Androy	6	115 359	4 667	16
Tsihombe	7	116 188	2 499	29
REGION ANDROY	51	774 785	19 538	28

Tableau 2: Répartition et densité de population par District – Superficie par District

Source : Instat- monographie de la Région Androy - 2015

5-2- Socio-économique

La sécheresse et l'irrégularité pluviométrique, combinée avec les variations et l'importance des amplitudes thermiques, favorise souvent la dégradation du sol. La Région est soumise à une présence quasi permanente de vent fort et desséchant du Sud. Cette situation fait que l'Androy connaît un problème chronique et sévère de disponibilité en eau.

L'inaccessibilité en eau est source de maladie, d'insécurité alimentaire chronique, de migration, de dégradation de la capacité de production agricole, en somme source d'aggravation de la pauvreté.

Les capacités de production agricole dépendent du régime de précipitation de l'année, des épisodes récurrents de « kere » surviennent dans la région dès que la pluviométrie baisse.

Dans le cadre de la lutte contre la mal nutrition, l'UNICEF et le Programme Alimentaire Mondial œuvrent dans la nutrition.

Les cultures dominantes sont : le manioc, la patate douce, le niébé (voanemba) et les légumes secs comme les haricots et les pois de cap.

Il y aussi les produits exotiques comme : le raketa (cactus), goyaves, mangues, lamoty (jubarier).

Depuis quelques années, la production de maïs est mauvaise à cause de l'irrégularité de la pluie.

L'élevage : en héritage traditionnel de leurs ancêtres, les gens élèvent des bovidés et des ovins destinés aux marchés locaux pour la consommation courante. La vente des poils de chèvres dites « agora » et des brebis « merinos » est l'une des activités des éleveurs ravitaillant ainsi les artisans locaux.

6- Aperçu géologique

On a distingué dans la région Androy trois unités géologiques (Besairie 1944). Ce sont : le socle cristallin précambrien, les formations sédimentaires quaternaires à l'Ouest et au Sud et le massif volcanique à l'Est (figure 17). Notre zone d'étude est constituée par ces unités géologiques.

6-1- Le socle cristallin

Madagascar est formé en quasi-totalité de roches cristallines précambriennes. A l'Est de l'île, elles affleurent sur les deux tiers (400 000 km²) de sa superficie.

Dans la région de l'Androy, le socle cristallin apparaît dans sa partie nordique. Il est caractérisé par des faciès granulites. Le système Androyen est formé par des roches catazonales : elles sont les faciès granulitiques du Sud de Madagascar.

6-2- Le massif volcanique de l'Androy

Le massif volcanique de l'Androy s'étend sur 90km de long et 40km de large. Il forme une énorme masse basaltique et rhyolitique. Le Sud du massif est caractérisé par une vaste zone rhyolitique avec des masses basaltiques qui prennent de l'importance au Sud-Ouest au détriment des rhyolites. Au Nord, le massif est bordé par une grosse intrusion microgranitique allongée sur 20km. (H Besairie 1944)

6-3- Les formations sédimentaires

Les formations sédimentaires du Néogène et du quaternaire de la région de l'Androy se trouvent sur le socle cristallin. Les formations quaternaires sont constituées par des grès calcaires, des sables marins et dunaires. Les formations Néogènes sont recouvertes par des sables dunaires et sont constituées par de grès argileux de conglomérats à graviers, d'argile et de marnes avec une prédominance de sables argileux et d'argiles bariolées.

Deux bassins sédimentaires se distinguent dans la région d'Androy, le bassin d'Ambovombe et celui de Beloha :

-Le bassin d' Ambovombe, est situé à l'Est et correspond à un grand golfe sédimentaire. Il est limité au Nord par les premières hauteurs du massif cristallin (Antanimora) et du volcanique (Angavo), à l'Est, par le fleuve Mandrare et à l'Ouest par l'éperon cristallin de Tsihombe. Il est aussi barré au Sud par un cordon dunaire d'une hauteur dépassant 200m. Ce bassin est formé essentiellement par des sédiments continentaux du néogène et quaternaire.

Le bassin de Beloha, il siège à l'Ouest et est constitué également par les mêmes formations que celui d'Ambovombe en majeure partie.

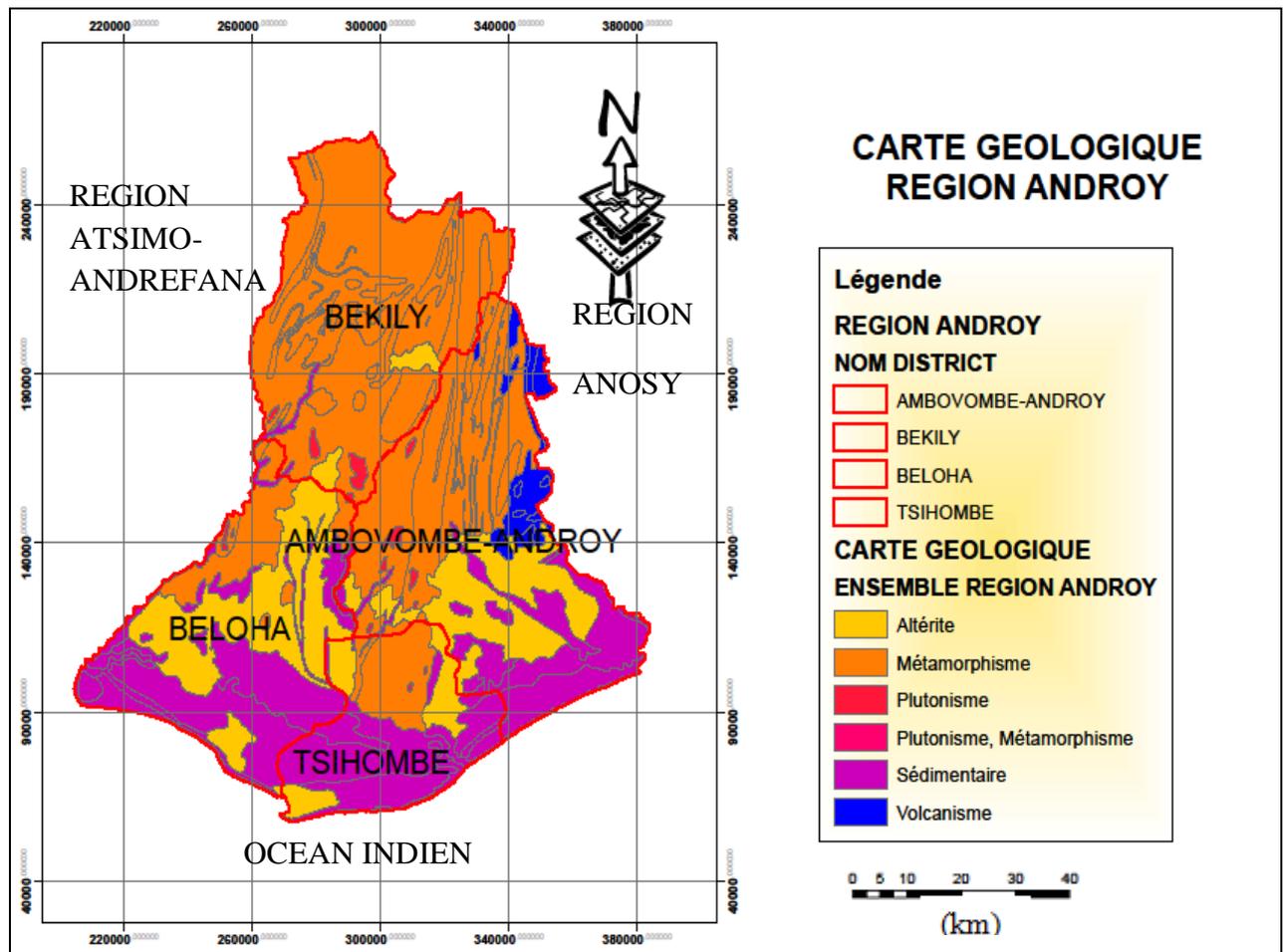


Figure 17 : Carte géologique de la région d'Androy

Source : BD 100-2000, Service Géologique.

6-4- La tectonique du Sud de Madagascar

En général, le Sud de Madagascar est une zone stable, de point de vue sismique, ce qui explique le fait que les différentes fractures et failles dans cette zone sont anciennes. La tectonique de la zone est liée donc à l'évènement de la séparation du Gondwana qui a duré de la fin du Carbonifère au Pléistocène.

6-5- La formation géologique de Beanantara

Notre domaine d'étude est localisé dans le bassin sédimentaire du Sud, caractérisé par une succession des dépôts de différents faciès. De bas en haut les formations géologiques se superposent et forment une entité hétérogène constitué par deux principales unités : le socle cristallin et les formations sédimentaires. Ce socle s'ennoie progressivement sous les dépôts sédimentaires.

Les formations géologiques sont extrêmement simple et matérialisé par :

Un substratum : le socle cristallin (groupe d'Ampanrandava : leptynites, gneiss et groupe d'Ampanihy : amphiboles, quartzites et leptynites).

Des formations sédimentaires déposées durant le tertiaire et le quaternaire.

Le tertiaire (néogène) est constitué par des grès calcaires (blanche, grise), sables et des argiles continentales, ces formations sont recouvertes par le quaternaire composé de sables argileux, sables (roux, blanc), dunes qui sont la plupart d'origine éolienne. Ces sédiments atteignent une haute altitude de 295m à Beanantara.

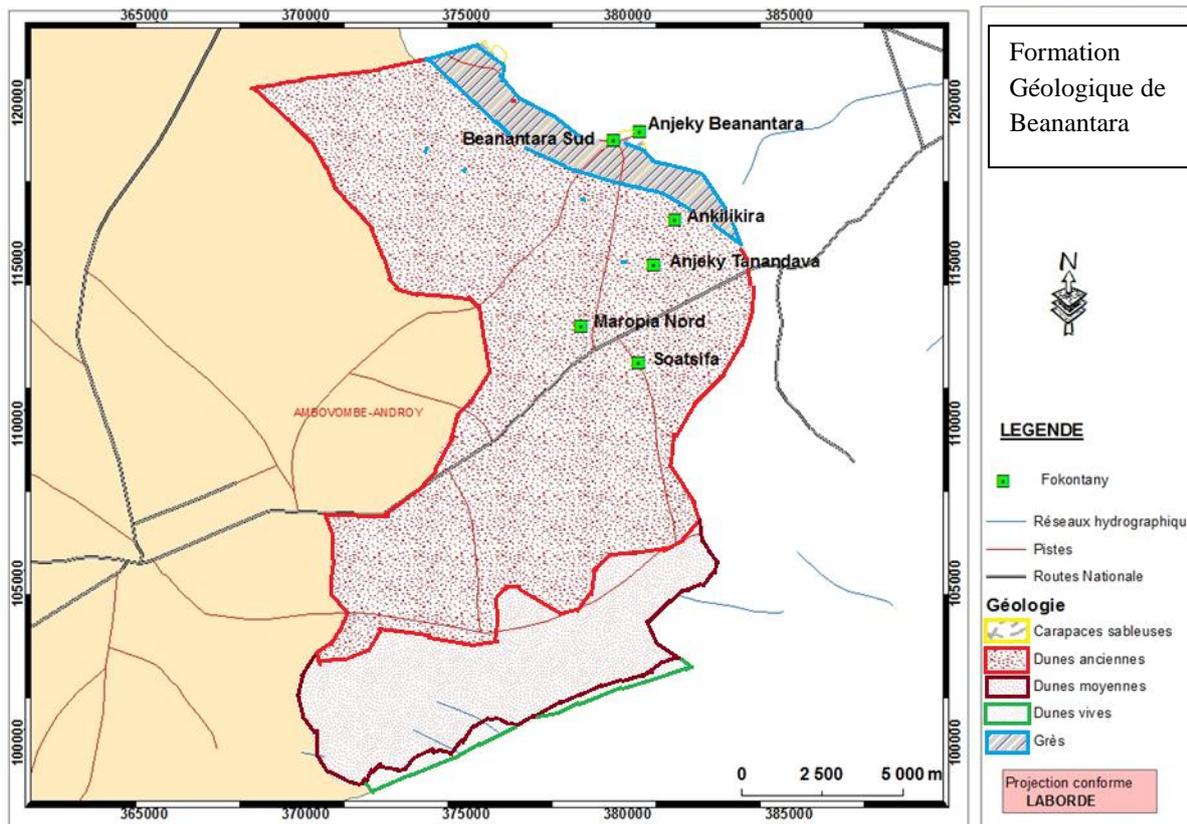


Figure 18: Formation géologique de Beanantara

Source : Auteur.

7- Géomorphologie du Sud de Madagascar

L'évolution morphologique de la région Androy est rythmée par une succession d'érosions liées à des modifications du climat (Rabemanana,2002). Il en résulte des phases d'aplanissement cycliques séparées par des phases de rajeunissement durant lesquelles l'érosion différentielle a remis en saillie les affleurements des roches les plus résistantes.

Mais en générale la région du sud de Madagascar est à dominante de pénélaine. La partie centrale qui fait partie du socle cristallin, a une altitude moyenne de 600 m.

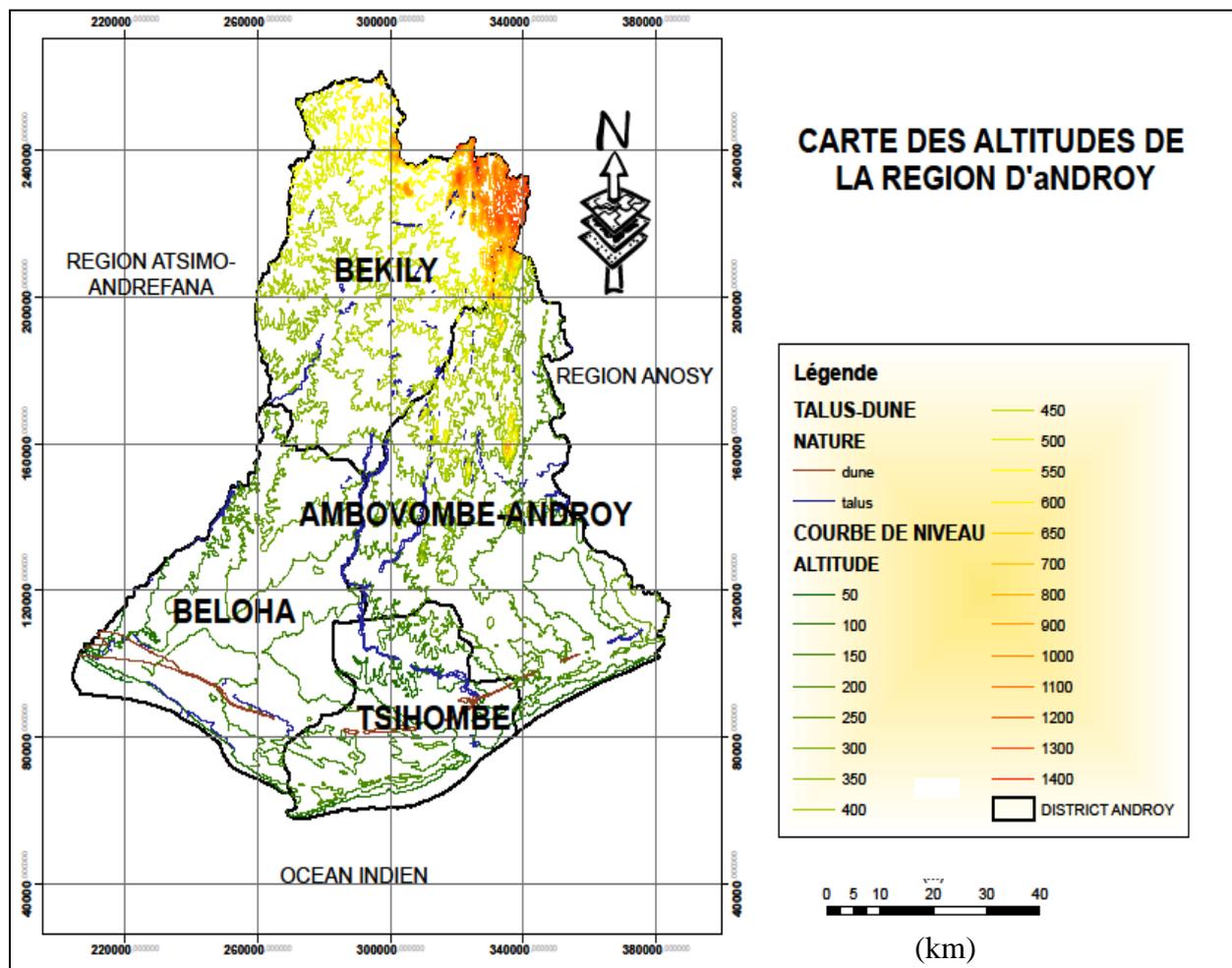


Figure 19 : Carte des altitudes de la région d'Androy

Source : BD 100, 2000.

Vers le Sud, on rencontre de vastes zones sableuses encadrant les deux bassins d'Ambovombe et Beloha, isolés de la mer par les plates-formes calcaires à Karimbola.

L'altitude moyenne est de 250m. Vers l'Est, le massif de l'Ivakoana se prolonge par celui de Beampingaratra, qui culmine à 1956m (chaîne Anosyenne), en forme de fer à cheval, délimitant la cuvette du bassin du Mandrare. Au-delà des massifs, on rencontre la cuvette de Ranomafana et une étroite plaine côtière orientale. Entre l'Océan Indien et les chaînes Anosyennes se trouve une étroite bande côtière de 30km de largeur en moyenne. L'altitude de la zone d'étude est comprise entre 160 et 240m.

8- Aperçu hydrogéologique

L'Androy dans son ensemble a été bien décrit par R. Decary (1930, 1939) et par R. Battistini après 1964. Le contexte hydrogéologique est très difficile en raison de la rareté de l'eau souterraine et de sa qualité souvent médiocre en liaison avec des problèmes de salinité dont l'origine est encore malconnue.

La nappe aquifère d' Ambovombe s'étale sur une superficie d' environ deux kilomètres carrés et se trouve dans des formations dunaires sableuses formant au Sud la cuvette lacustre. Elle est exploitée par une centaine de puits irrégulièrement repartis servant surtout a l'alimentation pastorale. Le mur de la nappe est constitué par des argiles qui se placent vers 115-119m sous la ville d' Ambovombe et dans la partie Nord mais qui descend à 103m au Sud. Les puits touchent la nappe entre vingt et quelques mètres de profondeur. La nappe est peu épaisse et son épaisseur est en fonction de l'irrégularité de ce mur argileux. Son niveau est affecté par les variations saisonnières dont l' amplitude moyenne est d' environ deux mètres.

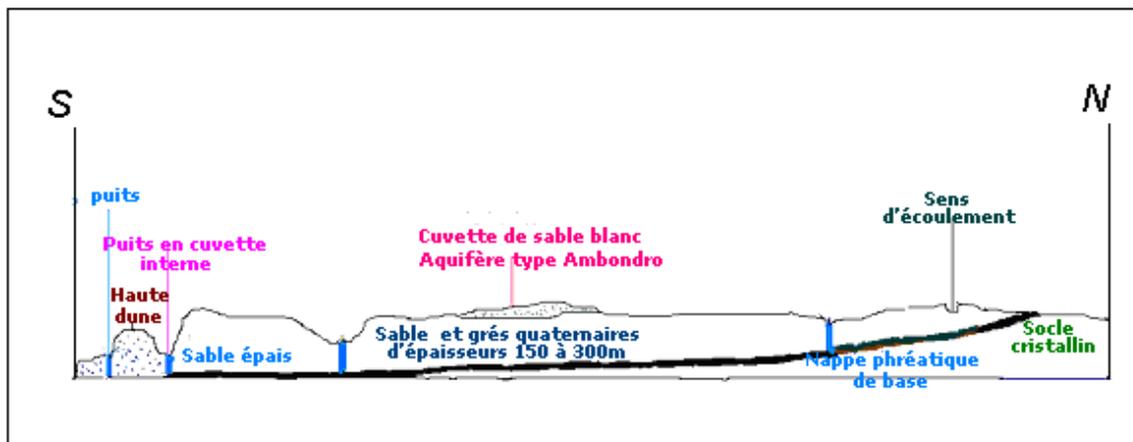


Figure 20: Schéma hydrogéologique de la région Androy

Source : MEM rapport hydrogéologique 1976

DEUXIEME PARTIE : METHODOLOGIE ET MATERIELS

CHAPITRE IV : OBSERVATIONS GEOLOGIQUES ET MATERIELS UTILISES

Ce chapitre décrit les observations géologiques (analyse morphostructurale), pour déterminer les points de sondage dans les quatre fokontany de la commune de Beanantara, qui sont : Anjiky Beanantara, Beanantara Sud, Ankilikira, Tanandava. Ces quatre fokontany ont été sélectionné pour l'étude.

1-Analyse morpho-structurale

Elle porte surtout à l'identification de la nature géologique de l'aquifère, du toit et du plancher des couches constitutives du système aquifère. Elle est basée sur l'étude géomorphologique et de la tectonique, la délimitation des différentes entités observées et l'analyse structurale.

En général, l'approche utilise la photo-interprétation et le traitement d'image comme les photo-aériennes. Une étude approfondie des photo-aériennes et des cartes topographiques seraient consacrées à l'observation des :

- natures et épaisseurs des sols, végétations, eaux de surface, réseaux hydrographiques et émergences ;
- affleurements et lithologies : affleurements rocheux, dykes, moraines, éboulis, terrasses, alluvions ;
- linéaments structuraux : fractures, failles...

La figure 21 montre une photo-aérienne à Anjiky :

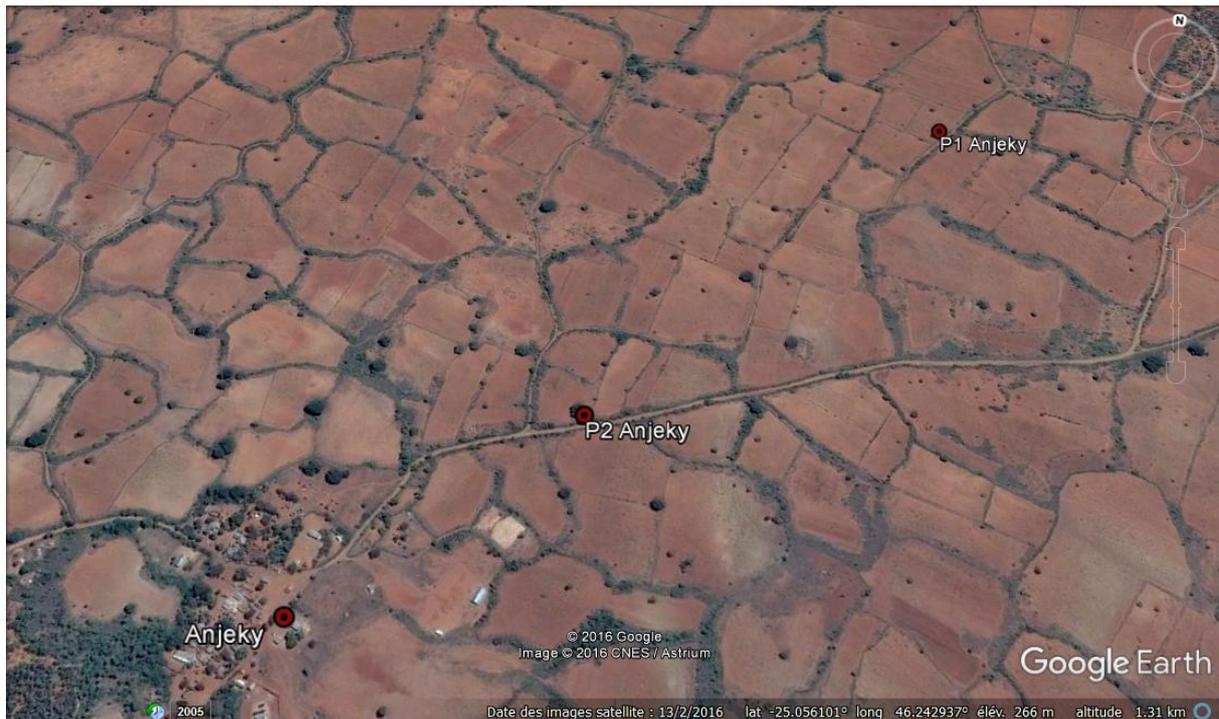


Figure 21: Photo aérienne à Anjeki

Source : Google Earth, 2016

1-2- Détermination d'une fracture

La détermination d'une fracture est très importante pour une étude hydrogéologique car l'eau souterraine circule facilement dans les fracturations où il y a interconnexion entre elles, ainsi l'étude consiste à regarder sur la photo aérienne et la carte géologique s'il existe un éventuel linéament.

1-2-1-Détermination à partir d'une photo aérienne :

Les opérations suivantes sont réalisées pour la détermination d'une fracture :

- on pointe le village sur la photo aérienne à l'aide de la carte topographique,
- on calque la direction des cours d'eau près du village sur la photo aérienne,
- on détermine la direction de schistosité sur terrain, et
- on cherche le linéament le plus proche du village.

1-2-2- Détermination à partir d'une carte géologique :

A partir d'une carte géologique on peut réaliser les opérations suivantes :

- localiser le site sur la carte géologique,
- voir s'il existe des filons ou des intrusions,
- voir sur la carte le pendage de la couche, puis le déterminer à partir d'affleurement,
- voir s'il y a des zones de cisaillement, et
- chercher les failles probables les plus proches du village.

Nb : ces opérations sont réalisées avant de descendre sur terrain pour connaître le site à prospecter.

La figure 22 montre un linéament à Tanandava :



Figure 22: Linéament à Tanandava

Source : Google Earth, 2016.

1-3- Géologie de chaque site

1-3-1- Géologie du fokontany Anjeko

Le fokontany se trouve à l'Est d'Ambovombe sur le plateau de Beanantara à la limite du bassin de Mandrara d'altitude moyenne de 270m, c'est le domaine des sables roux avec des grés à ciment calcaires et des sables argileux.

Géologiquement, ce site est caractérisé de haut en bas par des:

- sables roux ;
- sables fins argileux ;
- sables fins avec bancs de grés à ciment calcaires ;
- argiles plastiques ;
- sables et grés à ciment calcaires.

La figure 23 montre la coupe géologique de ce site :

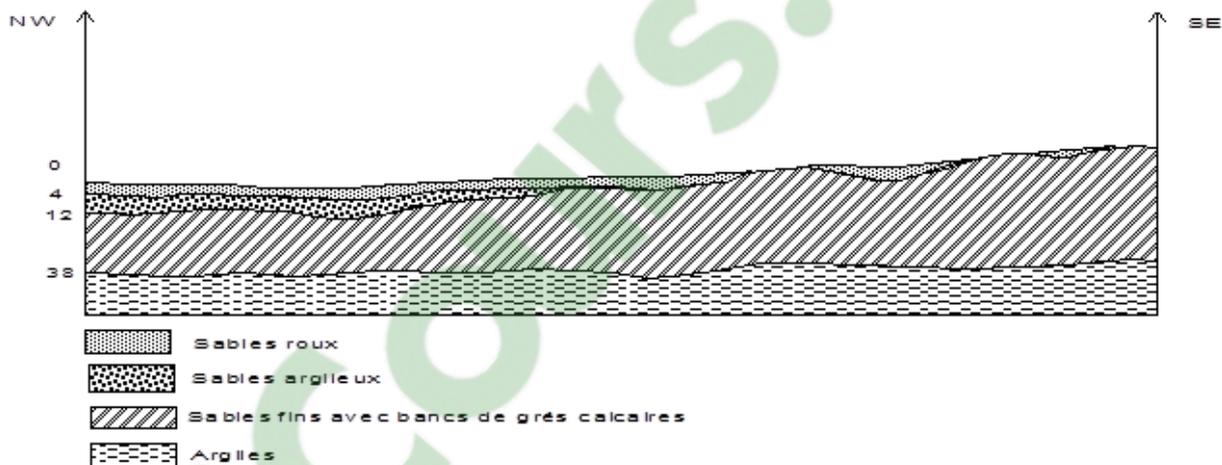


Figure 23: Coupe géologique à Anjeko

1-3-2- Géologie du fokontany Beanantara Sud

Ce fokontany se situe au Sud d'Anjeko sur le même plateau, d'altitude moyenne de 290m, du point de vue géologique, la formation reste homogène dans cette zone, ce site est caractérisé de haut en bas par des:

- sables roux ;
- sables fins argileux ;
- sables fins avec bancs de grés à ciment calcaires ;
- argiles plastiques ;
- sables et grés à ciment calcaires.

La figure 24 montre la coupe géologique de ce site :

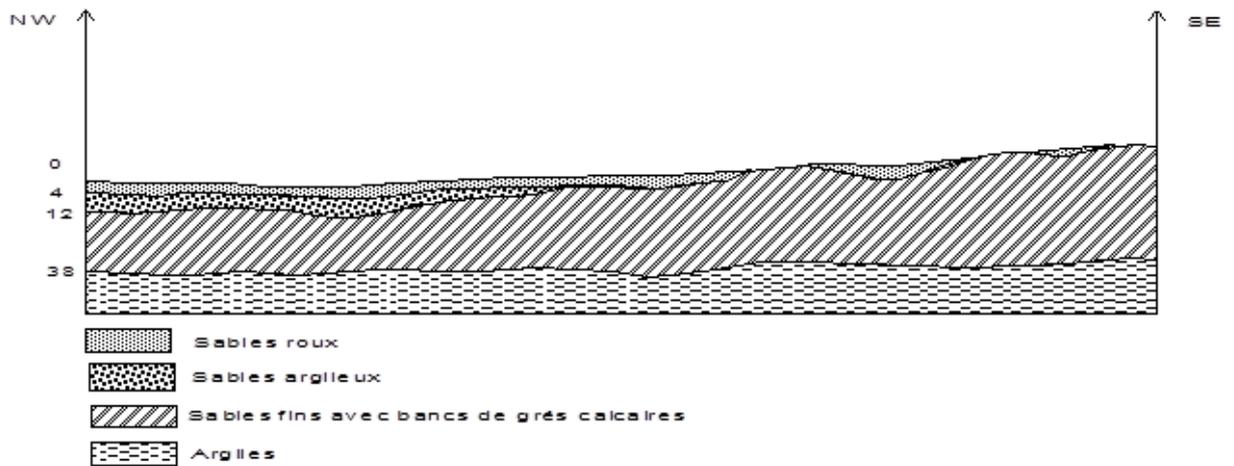


Figure 24 : Coupe géologique à Beanantara Sud

1-3-3- Géologie du fokontany Ankilikira

Le fokontany Ankilikira se situe à L’Est du fokontany de Beanantara Sud, le village se trouve sur une altitude moyenne de 291m, il est bâti sur un plateau de sable qui s’étend vers le Sud.

La formation géologique existante :

- sables roux ;
- sables fins argileux ;
- sables fins avec bancs de grès à ciment calcaires ;
- argiles plastiques épaisses.

La figure 25 montre la coupe géologique de ce site :

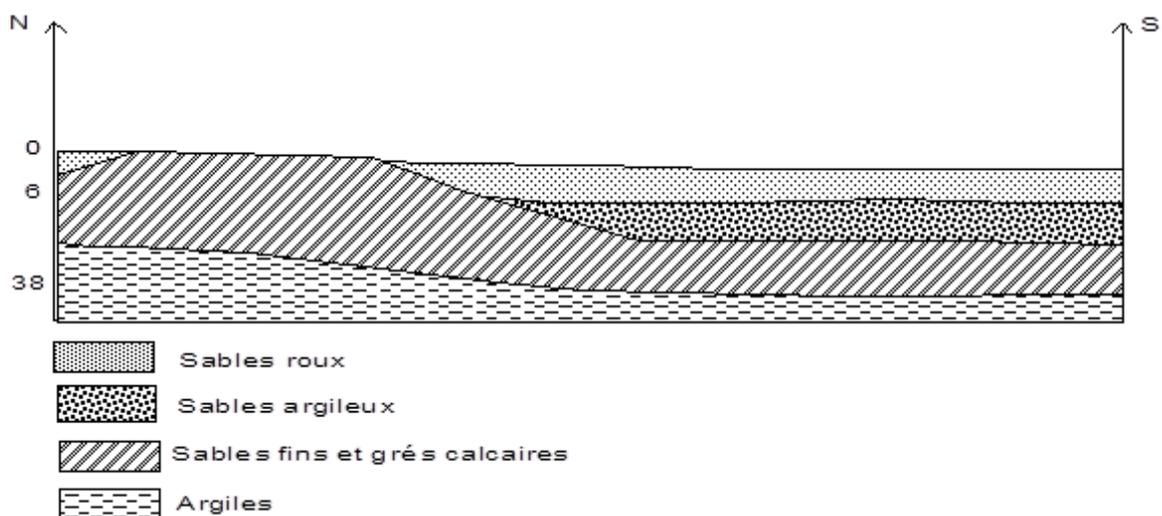


Figure 25: Coupe géologique à Ankilikira

1-3-4- Géologie du fokontany Tanandava :

Le fokontany Tanandava se situe au Sud d'Ankilikira, elle a une altitude d'environ 250 m, la formation du milieu reste homogène.

La géologie du milieu est constituée de haut en bas par des :

- sables roux superficiels ;
- sables fins argileux ;
- sables fins avec bancs de grés à ciment calcaires épais ;
- argiles ;
- sables et grés à ciment calcaires.

La figure 26 montre la coupe géologique de ce site :

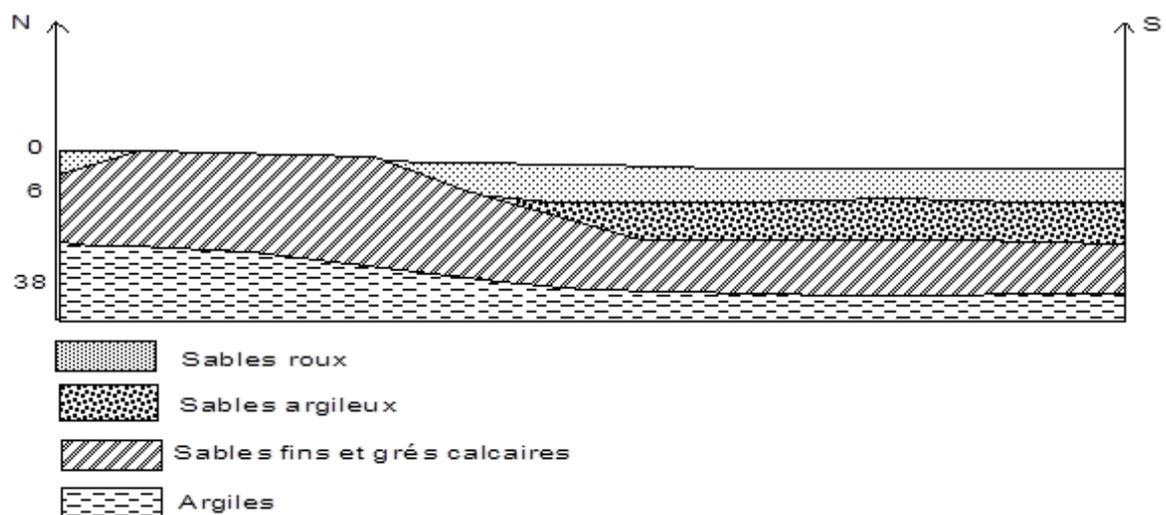


Figure 26: Coupe géologique à Tanandava

2- Choix de la zone à prospecter

Le choix de la zone à prospecter dépend des ressources en eau des habitants locales et l'analyse morphostructural de la zone d'étude.

2-1- Site Anjaky (Site n°01)

Coordonnées:

Lat= - 25,05915°;

Long= 46,24004°;

Alt = 289 m.

Clicours.COM

2-1-1- Ressources en eau

Pour leur approvisionnement en eau, les habitants puisent de l'eau de pluie collectée pendant la période pluvieuse (janvier jusqu'à mars) dans un impluvium installé à environ 10m à l'est du village. Lorsque celui-ci est à sec vers la fin du mois de mars, ils puisent de l'eau sur la rivière Mandrare traversant le village de Berenty situé à environ 7km du Fokontany car il n'y a pas de point d'eau dans le village et ses environs.

2-1-2- Analyse morphostructurale

La zone d'étude se trouve dans le bassin de Mandrare, du point de vue tectonique cette zone est stable puisqu'on n'observe pas des fractures dans cette zone. Mais on note la présence d'un linéament qui correspond à un ancien lit de rivière.

L'écoulement des eaux souterraines dépend de la topographie de la zone. Il suit la pente du terrain. Dans notre cas actuel, le relief de la zone favorable à prospecter est à pente douce avec une direction sud - nord menant à la rivière Mandrare sis à Berenty.

Les eaux souterraines se déversent vers cette rivière suivant le pendage des formations géologiques et la pente des terrains.

2-2- Site Beanantara Sud (Site n°02)

Coordonnées :

Lat= - 25,06067°;

Long= 46,23920°;

Alt = 297 m.

2-2-1- Ressources en eau

Pour leur approvisionnement en eau, les habitants puisent de l'eau de pluie collectée pendant la période pluvieuse (janvier jusqu'à mars) dans un impluvium installé à environ 7m à l'est du village. Lorsque celui-ci est à sec vers la fin du mois de mars, ils puisent de l'eau sur la rivière Mandrare traversant le village de Berenty situé à environ 8km du Fokontany car il n'y a pas de point d'eau dans le village et ses environs.

2-2-2- Analyse morphostructurale

Notre zone d'étude présente les mêmes caractéristiques que celle à Anjaky, le relief de la zone favorable à prospecter est à pente douce avec une direction sud - nord menant à la rivière Mandrare sis à Berenty.

2-3- Site ANKILIKIRA (Site n°03)

Coordonnées :

Lat= - 25,06879° ;

Long= 46,24990°;

Alt = 144 m.

2-3-1- Ressource en eau

Pour leur approvisionnement en eau, les habitants puisent de l'eau de pluie collectée pendant la période pluvieuse (janvier jusqu'à mars) dans un impluvium installé en plein centre du village. Lorsque celui-ci est à sec vers la fin du mois de mars, ils puisent de l'eau sur la rivière Mandrare traversant le village de Berenty situé à environ 12km du Fokontany car il n'y a pas de point d'eau dans le village et ses environs.

2-3-2- Analyse morphostructurale

La zone d'étude se trouve dans le bassin aréique d'Ambovombe, du point de vue tectonique elle est stable parce qu'il n'y a pas de fracture visible.

Notre zone d'étude présente les mêmes caractéristiques que celle à Beanantara, mais la zone favorable à prospecter se trouve dans une zone de convergence des nappes, sise au sud du village d'Ankilikira. Au niveau de cet endroit, les eaux s'y accumulent en période pluvieuse mais en période d'étiage, le bassin est complètement sec.

2-4- Site TANANDAVA : (Site n°04)

Coordonnées :

Lat=25,09280°;

Long=46,24776° ;

Alt= 277 m.

2-4-1- Ressource en eau

Pour leur approvisionnement en eau, les habitants puisent de l'eau de pluie collectée pendant la période pluvieuse (janvier jusqu'à mars) dans un impluvium installé en plein centre du village. Lorsque celui-ci est à sec vers la fin du mois de mars, ils puisent de l'eau sur la rivière Mandrare traversant le village de Berenty situé à environ 16km du Fokontany car il n'y a pas de point d'eau dans le village et ses environs.

2-4-2- Analyse morphostructurale

La zone d'étude se trouve dans le bassin aréique d'Ambovombe, une zone stable de point de vue tectonique.

On n'a pas pu trouver d'indice d'existence d'eau souterraine au sein du village et de ses environs. Néanmoins, une zone de faible dépression se trouvant à 200m du village sera vérifiée par prospection géophysique.

3- Matériels de terrain

Pour réaliser les travaux de terrain il faut :

- **un GPS** : pour repérer le village, tracer la route après avoir constitué le plan d'accès et aussi pour prendre les coordonnées des points d'implantation ;



Figure 27: Un GPS

- **une boussole** : très utile pour la mesure de direction des filons, fractures, schistosités et pendages ;



Figure 28: Une boussole

- **un stéréoscope** : un outil très essentiel qui sert à regarder le relief dans la photoaérienne afin de trouver une fracture la plus proche du village.



Figure 29: Un stéréoscope

- **une carte topographique (disponible à l'échelle de 1/100.000)** : Les cartes topographiques sont généralement utilisées pour représenter des régions terrestres. Elles indiquent les caractéristiques naturelles et artificielles de la région représentée : elles peuvent ainsi comporter le réseau de

transports (routes, voies ferrées, canaux, sentiers, aéroports), l'hydrographie (cours d'eau, lacs, aspects des côtes), les habitations (villages, villes), la forme et l'altitude du relief...etc.

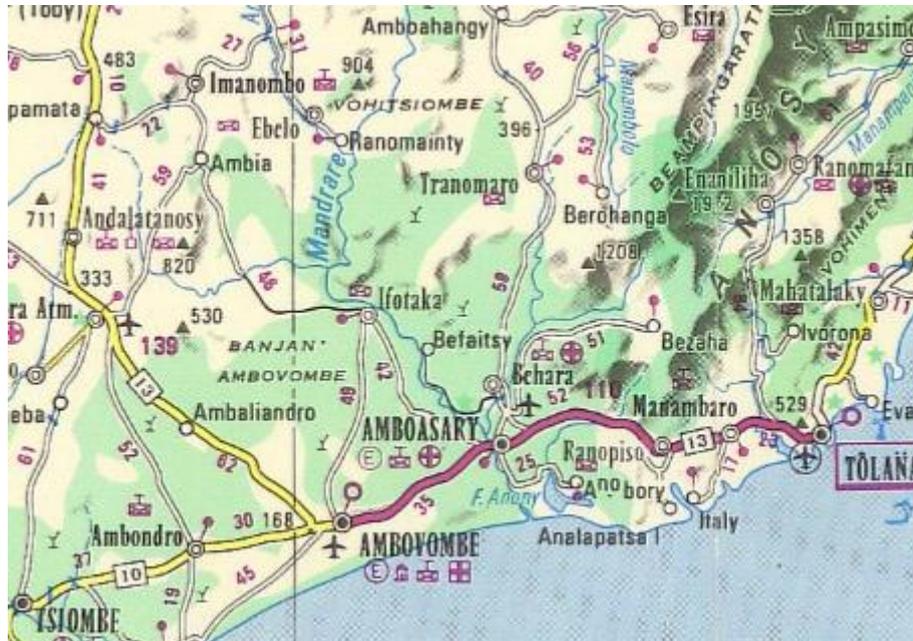


Figure 30: une carte topo à l'échelle 1/100 000

CHAPITRE V : METHODES ET MATERIELS GEOPHYSIQUES

De nombreuses méthodes géophysiques sont actuellement opérationnelles et occupent une place importante dans la prospection et la reconnaissance des eaux souterraines. Les principales méthodes géophysiques utilisées sur le terrain sont : la gravimétrie, la sismique, l'électromagnétisme, la diagraphie de forage et les méthodes électriques.

1- Choix de la méthode de prospection géophysique

Le choix de la méthode de prospection géophysique dépend de plusieurs facteurs comme : la nature du sous-sol et ses diverses composantes, la géologie de la zone d'étude, les couvertures végétales, la nature des roches dans le sous-sol. La méthode électrique semble être adéquate pour notre étude. Elle consiste à analyser le paramètre physique qui est la résistivité.

Il existe plusieurs techniques utilisées en méthode de prospection électrique pour déterminer la résistivité électrique d'un terrain permettant de caractériser la structure du sous-sol telles que :

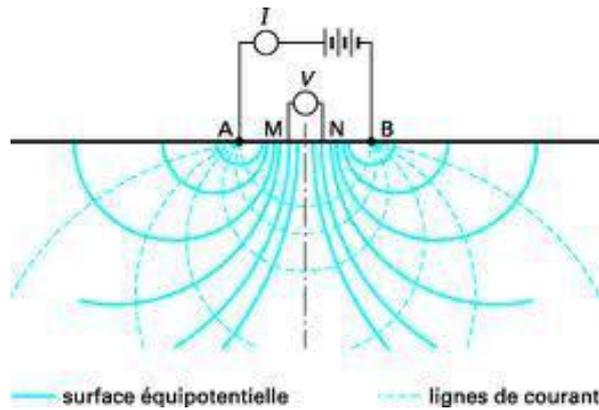
- Le sondage électrique : qui est une exploration en 1D du sous-sol suivant la profondeur.
- Le profilage ou traîné électrique : qui est une investigation horizontale du sous-sol en terme de résistivité électrique.
- Le panneau électrique : qui est une combinaison simultanément d'une exploration verticale et latérale du sous-sol.

Le choix du meilleur dispositif dépend des paramètres du terrain et de ce que l'on veut mettre en évidence :

- Le dispositif de Wenner pour représenter des structures géologiques horizontales dans une zone fortement perturbée par le bruit de fond,
- Dipôle-Dipôle pour détecter des structures verticales dans une zone faiblement perturbée avec une bonne couverture horizontale,
- Le dispositif de Schlumberger pour détecter des structures horizontales et verticales ainsi que de son signal relativement fort.

1-1- Principe de la prospection électrique

En générale, le principe de la méthode électrique utilise un quadripôle formé de deux électrodes d'injection A et B pour injecter le courant et deux autres électrodes M et N pour mesurer la différence de potentiel électrique entre les deux autres électrodes, M et N sont appelées électrodes de potentiel. La figure ci-dessous explique ce principe (figure 31).



Source : Manuel de géophysique appliquée

Figure 31: Dispositif à quatre électrodes

Les équations constitutives du courant électrique sont présentées ci-dessous :

Dans un circuit électrique, la valeur de la résistance R est donnée par la mesure d'un courant I fixé et par la chute de tension U à travers celui-ci, il s'agit de la loi d'Ohm en une dimension :

$$U = RI \quad (1)$$

Dans un milieu à trois dimensions, l'intensité est donnée par :

$$I = \iint \mathbf{j} \cdot d\vec{s} = |\mathbf{j}| \iint ds \quad (2)$$

Avec : j = la densité de courant et S = la section du conducteur.

Pour une sphère,

$$I = |\mathbf{j}| 4\pi r^2 \quad (3)$$

Avec : r = le rayon de la sphère.

Pour une demi-sphère,

$$I = |\mathbf{j}| 2\pi r^2 \quad (4)$$

En trois dimensions, la loi d'Ohm classique est davantage utilisable pour faire intervenir la résistivité ρ :

$$R = \rho / l \quad (5)$$

Avec : l = la longueur du conducteur.

On peut réécrire la loi d'Ohm à l'aide des formules (1), (4) et (5),

$$U = R.I = \rho / l \times |\mathbf{j}| 2\pi r^2 = \rho / 2\pi^2 \times |\mathbf{j}| 2\pi^2 = \rho |\mathbf{j}| \quad (6)$$

Par ailleurs, les postulants suivants sont émis :

$$E = -\text{grad}V \text{ (7) et}$$

$$E = \rho \vec{j} \text{ (8)}$$

Avec : E= le champ électrique et V = le potentiel électrique.

D'où, en concaténant les équations (7) et (8) :

$$E = -\text{grad} (\rho l \vec{j} \cdot \vec{ll}) \text{ (9)}$$

En concaténant les équations (5) et (9) :

$$E = \rho \vec{j} = -\text{grad} \rho l / 2\pi r = \rho l / 2\pi r^2 \text{ (10)}$$

Puisque le gradient dérive d'un potentiel :

$$V = \rho l / 2\pi r + \text{cste} \text{ (11)}$$

Et le potentiel étant nul à l'infini :

$$V = \rho l / 2\pi r \text{ (12)}$$

La différence de potentiel mesurée est donnée par :

$$\Delta V = V_M - V_N \text{ (13)}$$

Avec les potentiels V_M et V_N :

$$V_M = V_{A(M)} - V_{B(M)} \text{ (14)}$$

$$V_N = V_{A(N)} - V_{B(N)} \text{ (15)}$$

$$\Delta V = V_{A(M)} + V_{B(M)} + V_{A(N)} + V_{B(N)}$$

D'où, la différence de potentiel :

$$\Delta V = \rho l 2\pi (1/AM - 1/BM - 1/AN + 1/BN) \text{ (16)}$$

Ainsi, la résistivité électrique est donnée par :

$$\rho = (2\pi / (1/AM - 1/AN - 1/BM + 1/BN)) \Delta V / l \text{ (17)}$$

Nous avons la résistivité au centre du dispositif de la forme :

$$\rho = K \cdot \Delta V / l$$

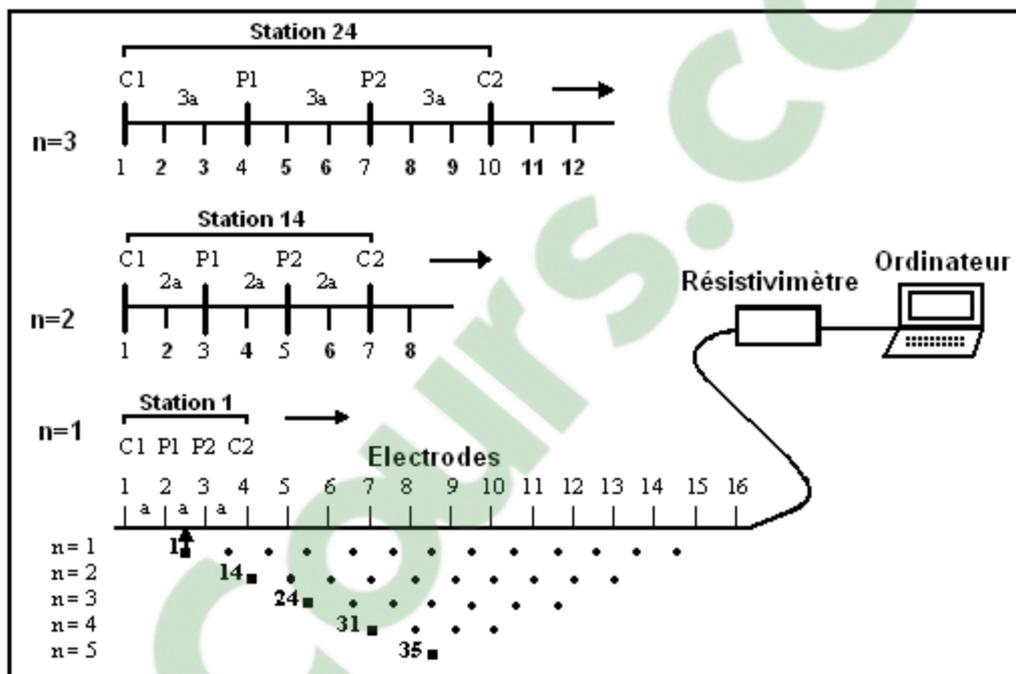
K est appelé « facteur géométrique » qui dépend de la disposition géométrique des électrodes.

1-2- Le panneau électrique

Le panneau électrique est une des techniques utilisées en méthode électrique. Il nous permet de faire une investigation verticale et latérale du sous-sol. En d'autres termes, cette

technique nous permet de réaliser une imagerie à deux dimensions du sous-sol aux termes de sa résistivité.

La réalisation des mesures pour cette technique nécessite l'utilisation de plusieurs électrodes. Cette technique consiste à faire des profils multiples en augmentant régulièrement, d'une manière automatique, l'espacement entre les électrodes noté a. Et ceci constitue l'avantage de cette technique puisque l'acquisition des données avec se fait rapidement. D'où notre choix pour cette technique. Chaque point de mesure se trouve à l'aplomb du dispositif avec une profondeur proportionnelle à la distance inter-électrodes a. On parle de niveaux d'acquisition n.



(Source : Manuel de RES2DINV)

Figure 32: Représentation du panneau électrique et niveaux d'acquisition de données

Dans le cas général, si on utilise N électrodes, le nombre total de mesures m, pour un profil dont la distance entre deux électrodes égale na, a pour expression :

$$m = \sum(N - 3n) \text{ où } n=1, 2, 3, 4, \dots$$

Le choix de N dépend de la profondeur qu'on veut atteindre puisque la profondeur d'investigation est fonction de la longueur de ligne. Dans notre cas, nous avons utilisé 32 électrodes avec une distance inter-électrodes égale à 5 m. La longueur de ligne (distance entre les électrodes extrêmes) correspondante vaut 155 m. La profondeur d'investigation est comprise entre le quart (pour une formation résistante) et le dixième (pour une formation conductrice) de cette longueur de ligne. Le nombre total de points de mesures est 155 sur 10 niveaux d'acquisition. En ce qui concerne le dispositif utilisé, nous le choisissons en fonction de la géométrie de la cible et de la sensibilité du dispositif. Dans notre cas, nous avons pris le dispositif Wenner-Schlumberger.

1-3 -Le dispositif de Wenner

Pour notre étude, nous avons utilisé le dispositif Wenner car en dispositif Wenner, les contours des valeurs de la sensibilité sont quasiment horizontaux à l'aplomb du centre du dispositif. A cause de cette propriété, une acquisition en Wenner sera bien plus sensible aux changements verticaux qu'horizontaux de la résistivité, et que le dispositif Wenner présente aussi l'avantage d'avoir une plus grande ligne MN, ce qui facilite la mesure de ΔV . Ceci implique que le dispositif Wenner est recommandé pour détecter des structures horizontales avec une bonne résolution verticale.

1-3-1- Configuration géométrique du dispositif Wenner :

Pour ce dispositif, les distances entre les quatre électrodes dont deux sont des électrodes d'injection de courant et deux sont des électrodes de potentiel, sont les mêmes et notée « a ». Ces quatre électrodes sont alignées. Elles sont disposées comme la figure 33 le montre.

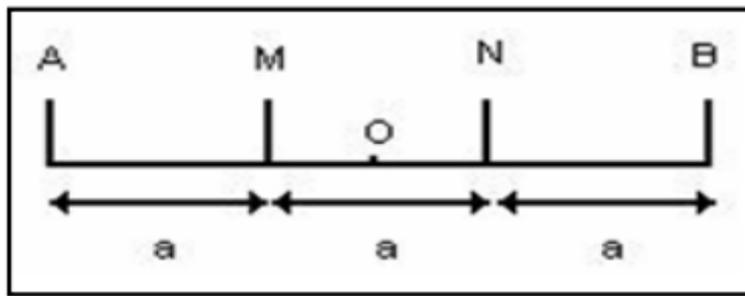


Figure 33: configuration du dispositif de Wenner

Dans ce cas, le facteur géométrique K devient $k = 2\pi a$. D'où, la résistivité est donnée par la relation :

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

1-3-2- Sensibilité du dispositif Wenner :

La figure 34 montre la fonction de sensibilité du dispositif Wenner :

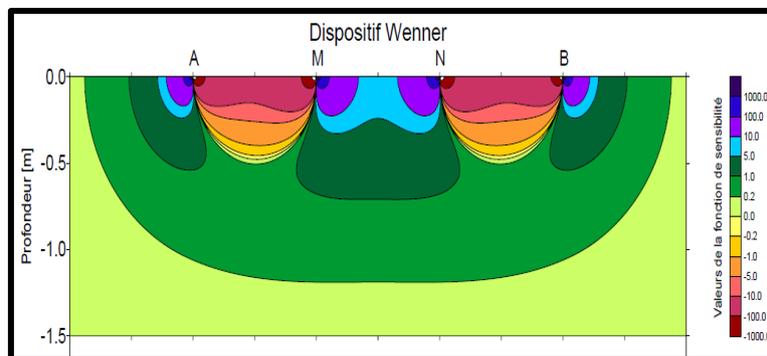


Figure 34: Représentation de la sensibilité Wenner

D'après cette figure, à l'aplomb du dispositif, les contours de valeurs de la sensibilité sont presque horizontaux. Ceci implique que ce dispositif est sensible aux variations verticales de la résistivité. Ainsi ce dispositif est sensible pour la détection des structures horizontales.

1-3-3- Profondeur d'investigation du dispositif de Wenner

La profondeur d'investigation pour ce dispositif est estimée à $0.519a$ [Edwards, 1977] a étant la distance entre les deux électrodes extrêmes (électrode 1 et électrode 32) divisés par 3.

1-4- Le dispositif de Schlumberger

Pour notre étude nous avons utilisé le dispositif de Schlumberger, ce dispositif est fait pour détecter des structures horizontales et verticales ainsi que de son signal relativement fort.

1-4-1- Principe

Il consiste à établir la courbe de variation de la résistivité apparente (ρ_a) des terrains en fonction de la profondeur d'investigation liée à l'écartement des électrodes d'injection A et B. Les résistivités apparentes mesurées varient en fonction de la succession des résistivités vraies associées aux différents niveaux de terrains horizontaux superposés à la verticale du centre du dispositif de mesure.

Le centre du dispositif appelé point de traçage (ou de report, ou station) reste fixe. On écarte progressivement les électrodes d'injections de courant symétriquement par rapport au point de traçage.

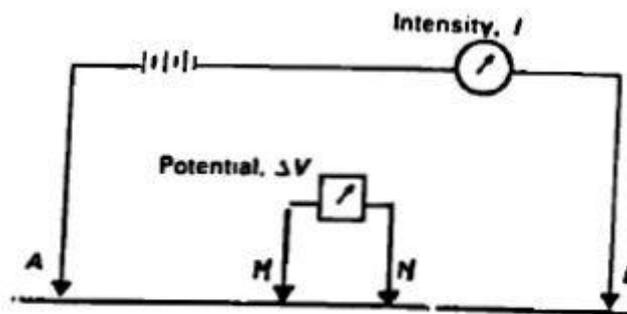


Figure 35: Dispositif de Schlumberger

Les électrodes de réception M et N restées fixes, pour une série de mesures correspondant à un certain nombre d'écartement de A et B, sont ensuite écartées en tenant compte généralement de la relation $4 < AB/MN < 20$.

Les ρ_a ainsi calculées à partir des mesures de $I(m)$ et Δv (mV) effectuées respectivement entre AB et MN apportent des informations géoélectriques sur la nature et l'épaisseur des couches de terrains situées à la verticale du point de traçage.

Exécuté suivant plusieurs directions (en croix) le sondage Schlumberger permet de mettre en évidence l'anisotropie du terrain.

$$\rho_a = K \frac{\Delta v}{I}$$

Le ρ_a est donné par la formule générale :

ρ_a est exprimé en ohm.mètre ($\Omega.m$), I en milliampère (mA)

K est le coefficient géométrique du dispositif. TI est constant pour un écartement donné.

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

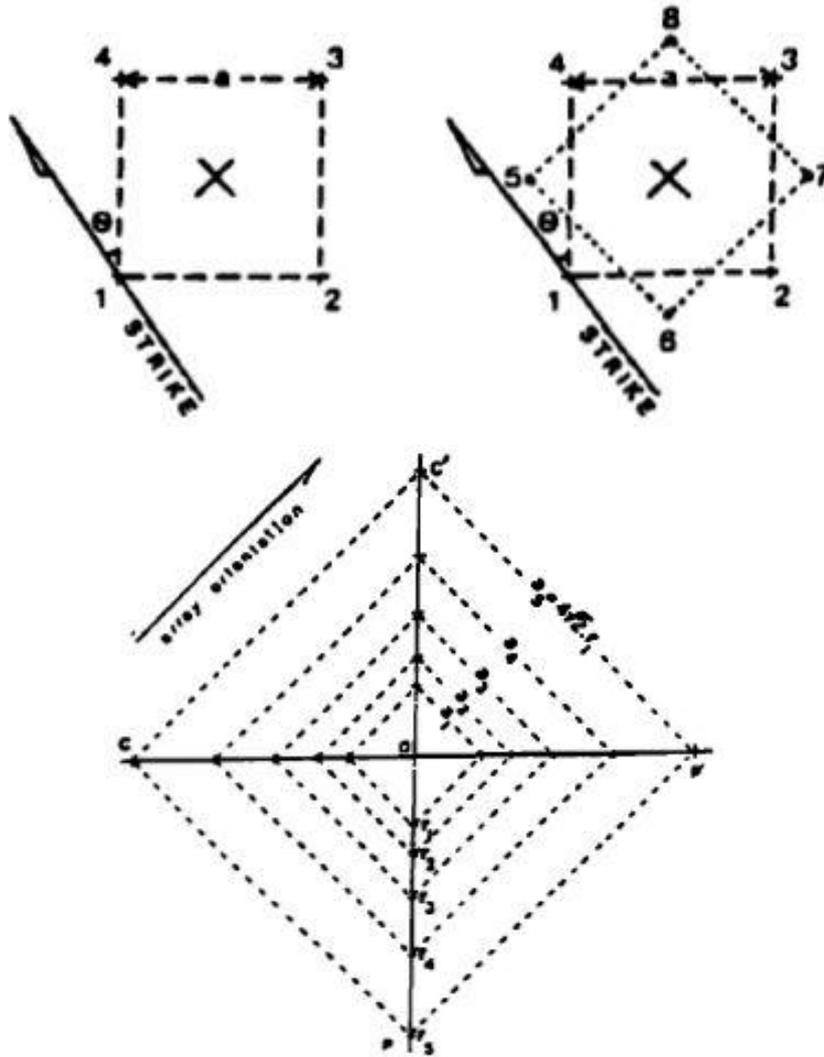
Les valeurs de la résistivité apparente sont ensuite reportées sur du papier bilogarithmique en fonction de la distance $AB/2$. La courbe de SE ainsi obtenue est interprétée soit par la méthode des abaques de façon manuelle, soit par le traitement informatique à l'aide de logiciel approprié.

1-4-2- Sondage carré

Il consiste à mesurer la résistivité apparente, à partir du centre O du quadripôle ABMN disposé en carré. Les mesures sont effectuées dans plusieurs directions sur un ou des dispositifs carrés croisés (fig 35). La résistivité apparente est donnée par la même expression qu'en Schlumberger avec $K = \frac{2\pi}{2-\sqrt{2}} a$

La profondeur d'investigation croît avec le côté a du carré. Des relations d'équivalence définies entre les dispositifs Wenner ($\frac{AB}{3} = 0,805 a$), Schlumberger ($\frac{AB}{2} = 1,207 a$) et le carré facilite la comparaison des mesures (G.M.Habberjam et al, 1967). Cette méthode permet de mettre en évidence l'anisotropie du sous-sol. Les mesures sont représentées sous forme de diagramme circulaire (milieu isotrope) ou allongé (milieu anisotrope). La direction d'anisotropie est définie par le petit axe du diagramme.

La figure suivante montre une vue en plan du principe du sondage carré (figure 36) :



Source : manuel de géophysique appliquée

Figure 36: Sondage carré

1-5- Sondages électromagnétiques TDEM

Le TDEM (Time Domain Electromagnetism) est le terme utilisé dans les pays anglo-saxons pour désigner les méthodes électromagnétiques temporelles.

1-5-1- Principes généraux

La méthode TDEM est une méthode électromagnétique de sondage géophysique. Elle permet de sonder le sous-sol grâce à l'induction électromagnétique produite par la coupure brusque d'un champ magnétique statique établi en surface grâce à une boucle de câble déployée à la surface dans laquelle on a fait circuler un courant électrique. (Voir figure 27)

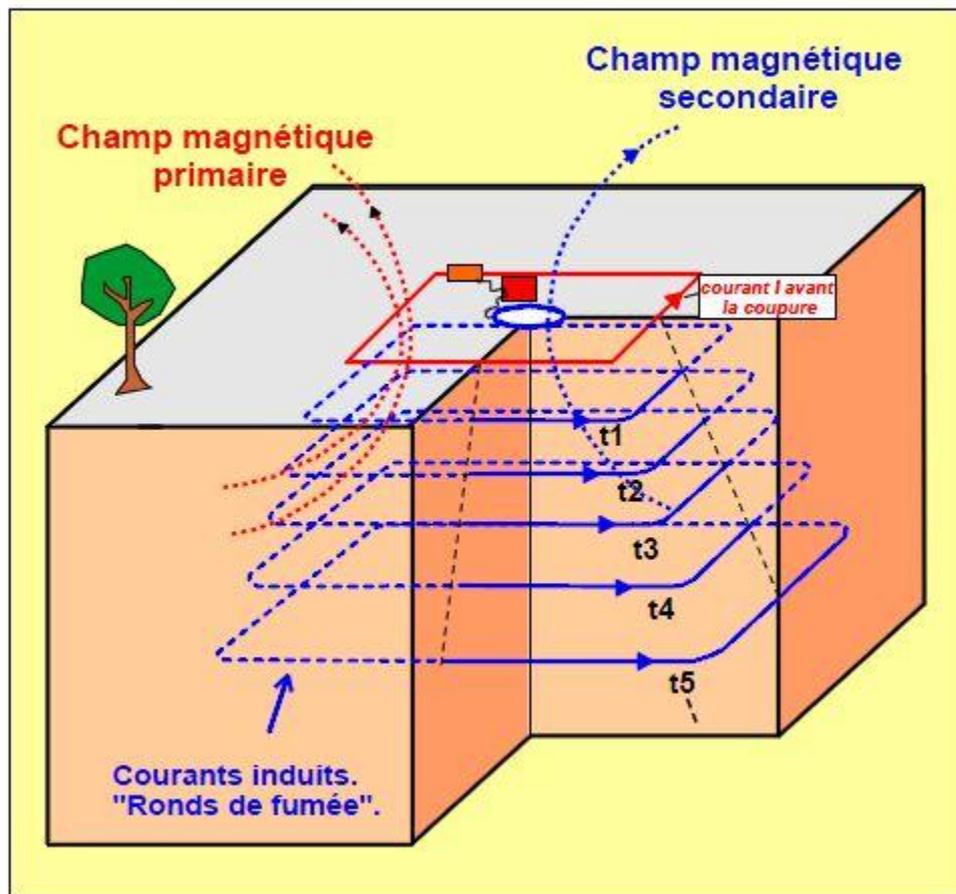


Figure 37: Principe du sondage TDEM

(Source BRGM)

La différence de flux crée une induction dans le sol, sous forme de boucle de courant (en bleu) qui crée à son tour un champ secondaire enregistré soit par la même boucle de câble en surface (dispositif coïncident) soit par une boucle de câble plus petite placée au centre de la boucle d'émission (dispositif central). Le champ secondaire est décroissant dans le temps.

Plus le temps considéré est grand, plus l'information obtenue est profonde. L'étude de la forme de sa décroissance se traduit par une courbe de sondage reliant la résistivité apparente (en ordonnée) au temps (en abscisse) de façon analogue aux sondages électriques à courant continu. Cette courbe est étudiée et inversée pour reconstituer la variation de la résistivité en fonction de la profondeur. L'hypothèse prise lors de cette étape est celle d'un terrain stratifié horizontalement (situation 1D) comme dans le cas de la région Androy, car la géologie de la région montre des couches sédimentaires monotones. Le modèle de résistivité en fonction de la profondeur est soumis à des règles d'équivalence et de suppression (analogue à celles connues pour l'électrique) ce qui fait qu'une interprétation n'est jamais unique et réclame souvent une connaissance à priori sur la profondeur ou sur la résistivité des terrains qui peuvent être connus par une autre méthode (forage, diagrapie..)

La méthode TDEM est très sensible aux terrains conducteurs et à la position de leur toit et les définit de façon meilleure que les sondages électriques.

1-5-2-Les dispositifs Emetteur-Récepteur

Plusieurs types de configurations de boucles émettrice-réceptrice (voir figure) peuvent servir à la réalisation des mesures électromagnétiques telles que le dispositif à boucles coïncidentes, le dispositif central, les dispositifs avec « offset ».

Les émetteurs sont généralement des grandes boucles carrées disposées horizontalement au sol. Elles pourraient être circulaires, mais cela est plus difficile à réaliser sur terrain. Dans la plupart des programmes de calcul, elles sont traitées comme si elles étaient circulaires de même surface (Descloitres, 1998).

Cependant si on s'écarte de la géométrie carrée, cette approximation ne sera plus correcte.

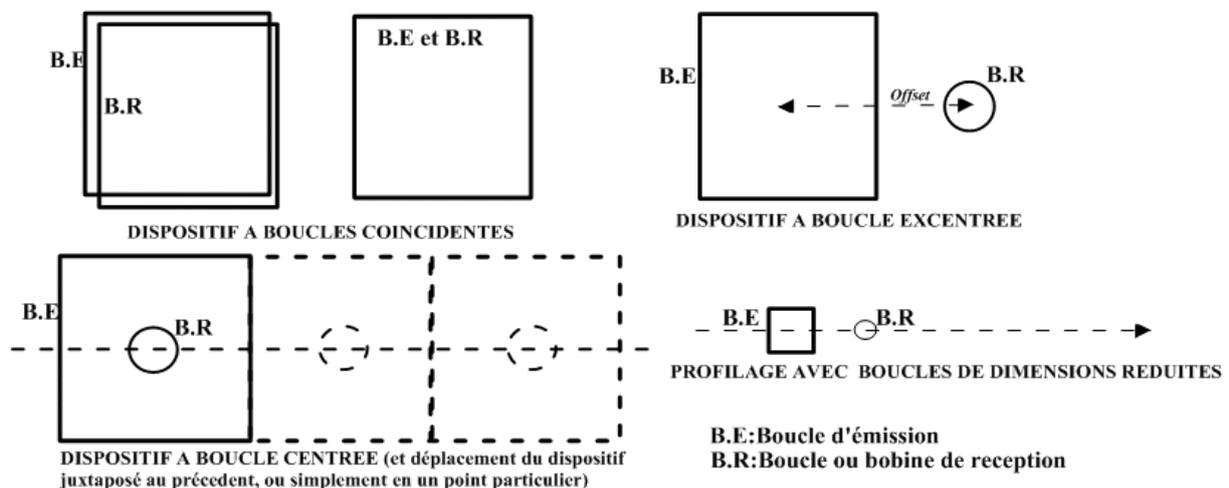


Figure 38: Principaux dispositifs de mesure en TDEM

Source : Descloitres en 1998

Les récepteurs les plus courants sont soit des grandes boucles horizontales, soit des boucles de petites dimensions considérées comme des dipôles. Ces derniers présentent l'avantage de pouvoir être manipulés facilement : les mesures de plusieurs composantes du champ magnétique secondaire seront ainsi facilitées. Les dipôles électriques sont plus rarement utilisés.

Les dispositifs à boucles coïncidentes où un seul câble est utilisé à la fois comme émetteur et récepteur, mais présentent des avantages comme celui d'avoir une grande surface de réception, ce qui amplifie le signal du champ secondaire, ou celui de n'avoir qu'un seul câble à disposer au sol. (Descloitres en 1998)

Les dispositifs à boucle excentrée où la boucle ou la bobine de réception se trouve en dehors de la boucle d'émission.

Les dispositifs à boucle centrée où la boucle de réception se trouve au centre de la boucle d'émission.

Par contre ils présentent un désavantage d'être plus sensibles aux effets magnétiques (Buselli, 1982).

En général, l'opérateur dispose d'une grande variété de configurations possibles pour lesquels il s'agit d'adapter au problème posé, mais la profondeur d'investigation dépend de la dimension de la boucle. On peut ainsi obtenir une profondeur d'investigation élevée et ce fait est un des principaux avantages de la méthode TDEM par rapport aux sondages électriques.

1-5-3- Principes de mesure

On sonde le sol en étudiant les variations de champ magnétique secondaire en fonction du temps. Les variations du champ magnétique secondaire peuvent être enregistrées grâce à une boucle réceptrice qui peut être la même boucle que la boucle émettrice (dispositif coïncident) ou qui peut être une boucle plus petite placée soit au centre de la boucle d'émission (dispositif central), soit écartée du centre (dispositif offset).

La mesure s'effectue pendant l'arrêt de l'émission, c'est-à-dire en l'absence du champ primaire. Plus le temps considéré est grand, plus l'information obtenue est profonde.

La résistivité apparente dépend du temps t , de la surface d'émission a^2 , de la surface de réception S_r , du courant d'injection I et du voltage V dans le récepteur, μ perméabilité magnétique.

Voici la formule de la résistivité apparente:

$$\rho_a = \frac{\mu}{4\pi t} \left(\frac{2\pi\mu a^2 S_r I}{5tV} \right)^{2/3}$$

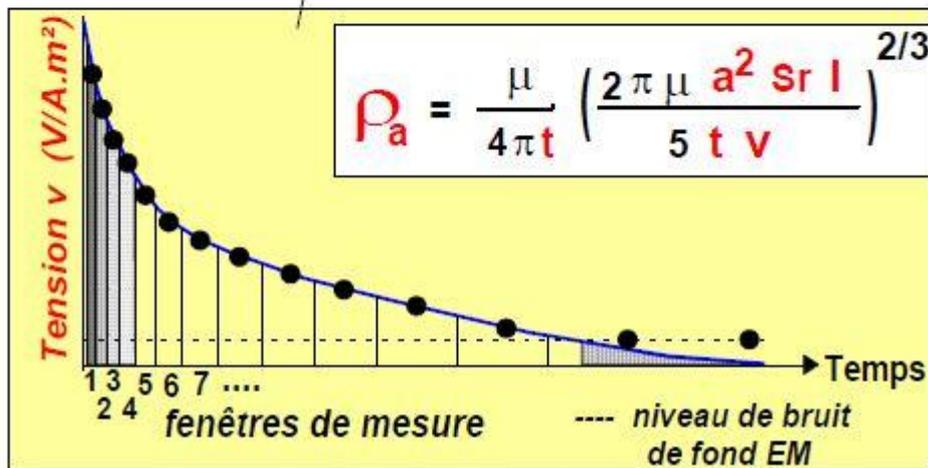
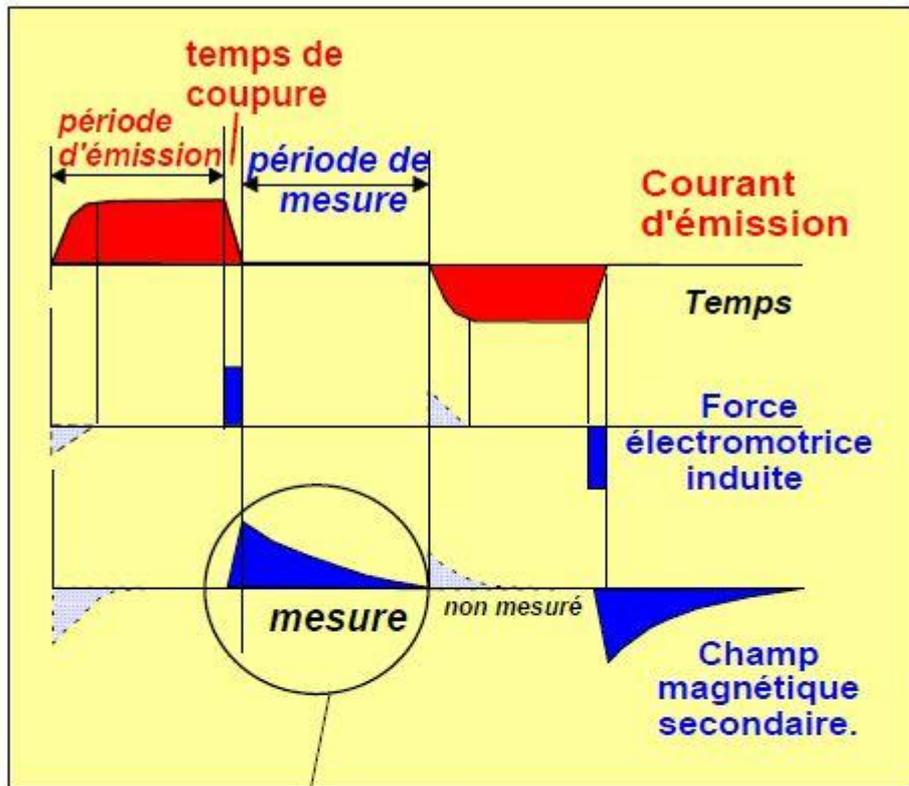


Figure 39: Principe de mesure en TDEM

(Source BRGM)

1-5-4- Profondeur d'investigation

La profondeur d'investigation dans les méthodes géophysiques est définie comme la profondeur à laquelle la méthode, pour un terrain et une configuration donnée, détectera le terrain le plus profond et le caractérisera.

En TDEM, cette profondeur sera limitée si le transitoire est plus faible que le bruit de fond. Cette profondeur dépend en premier lieu du temps pendant lequel le signal est enregistré dans

la boucle de réception. Il ne suffit pas de mesurer le plus longtemps possible pour augmenter cette profondeur d'investigation.

La limite d'investigation d'un sondage TDEM est donc liée au temps pendant lequel ce signal mesuré est interprétable : le temps pendant lequel l'amplitude du signal est supérieure à celle du bruit. Pour caractériser cela, on utilise le rapport "signal sur bruit", ou SNR (Signal to Noise Ratio), qui exprime le rapport entre l'information utile de la mesure (Signal) et celle du bruit qui l'accompagne.

$$\text{SNR} = \text{Signal/Bruit}$$

La valeur de ce paramètre renseigne sur la quantité d'informations disponibles devant le bruit et permet de comparer les différents sondages réalisés sur un même site. Une valeur élevée traduit un niveau de signal fort devant le niveau de bruit et donc un signal mesurable plus longtemps. Inversement, une valeur faible traduit une quantité d'information plus faible. De manière générale, on cherchera toujours à maximiser la valeur de ce rapport.

2- Matériels et acquisitions des données

2-1- Matériels utilisés

Pour l'acquisition des données, nous avons utilisés un appareil de mesure appelé résistivimètre Syscal R2 fabriqué par Iris instrument. Il se présente sous la forme d'un boîtier qui comporte un écran et un tableau à commandes numériques. Il est doté d'une mémoire interne permettant l'installation de protocoles de mesures et le stockage des données.

La figure suivante montre le résistivimètre SYSCAL R2 et le branchement de ses accessoires (figure 40).

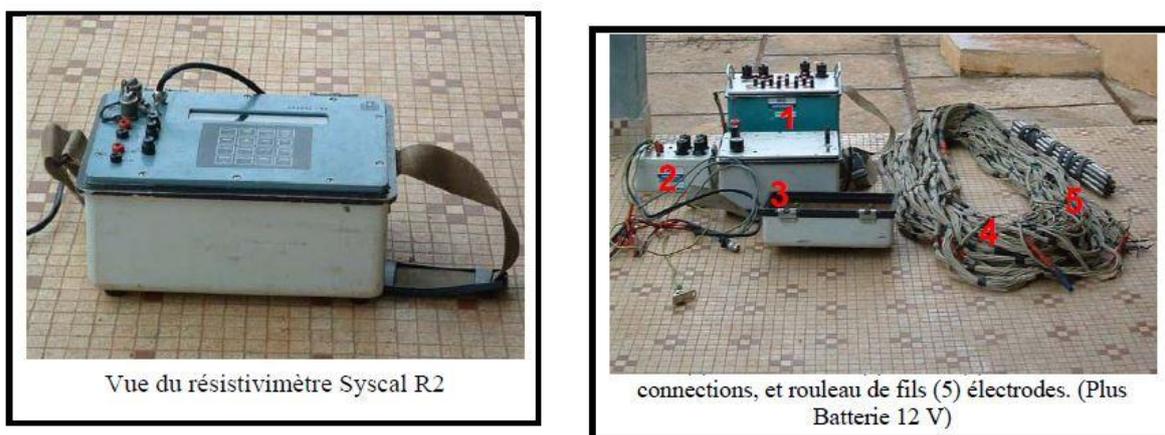


Figure 40: Résistivimètre Syscal R2

2-1-1- Les différents accessoires du SYSCAL R2

- un convertisseur DC/DC de 250 Watts,
- deux batteries de 12 V alimentant le convertisseur et le RCM,

- un module de commutation : Remote Control Multiplexer (RCM),
- des câbles de connexion,
- deux boîtiers multinodes pour le mode multi-électrodes,
- des rouleaux de fils, et
- 32 électrodes en acier inox.

2-1-2- caractéristique de l'appareil Syscal R2

L'appareil Syscal R2 se caractérise par :

- Une tension de sortie de 800 Volts (1600V crête à crête)
- Un courant de sortie maximum jusqu'à 2.5A
- Une puissance de sortie maximum de 1600watts
- Une impédance d'entrée de $10M\Omega$
- Une gamme de tension d'entrée de -5 à +5V
- Une compensation automatique de la PS (-5 à +5V) avec une correction linéaire de la dérive (jusqu'à 1mV/s)

2-2- Acquisitions des données

On déplace tout le dispositif d'un point de mesure à l'autre. Les électrodes A et B, permettant l'injection du courant, et M et N pour la mesure de potentiel, les électrodes sont alignées et ils sont toutes équidistantes, c'est-à-dire : $AM = MN = NB = AB/3 = a$

La figure 41 montre le fonctionnement de l'acquisition des données :

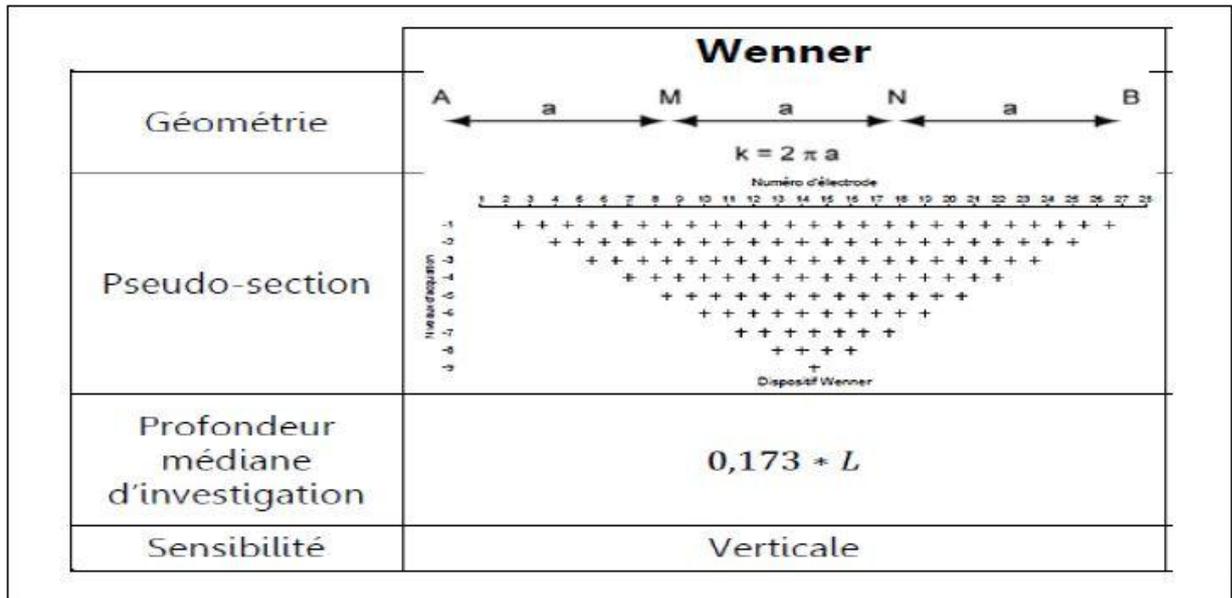


Figure 41: Présentation de l'acquisition des données

Soient « a » la distance inter-électrode et « N » le nombre d'électrodes.

«L » la longueur du dispositif

❖ Déroulement de l'opération :

La première série de mesures débute d'abord avec les électrodes 1, 2, 3 et 4 dont les électrodes 1 et 4 sont utilisées comme électrodes de courant et les deux autres électrodes 2 et 3 comme électrodes de potentiel. La seconde série de mesures utilise ensuite les électrodes 2, 3, 4 et 5 et ainsi de suite jusqu'à ce que toutes les séries de mesures soient terminées.

Nous passons après à la seconde séquence de mesures dont la distance inter-électrode s'incrémente à 2a. On effectue les autres séries de mesures. L'opération continue jusqu'à ce que toutes les mesures possibles soient effectuées.

3 – Traitements des données

Pour le traitement des données on utilise le programme RES2DINV développé par LOKE12.H. Ce programme consiste à inverser automatiquement les données expérimentales en modèle deux dimensions ou 2D appelé « pseudo-section ».

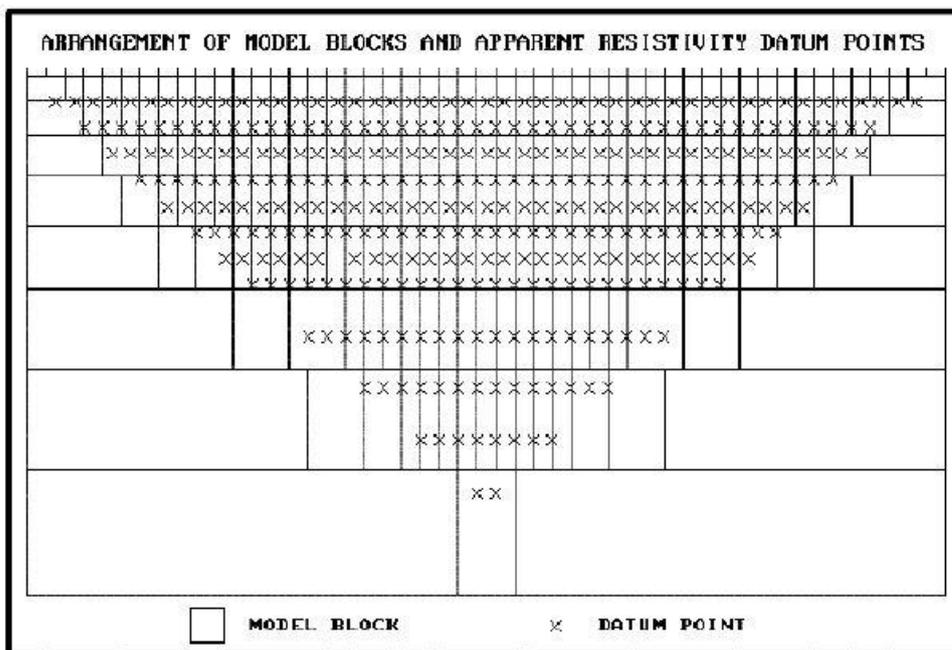
Ci-dessous une description détaillée sur la méthode utilisée par le logiciel RES2DINV décrit sur son manuel d'utilisation :

La méthode d'inversion utilisée par le programme est basée sur la méthode des moindres carrée, utilisant la méthode des différences finies pour le calcul de la résistivité. Elle utilise la méthode de lissage par contrainte pour déterminer le modèle approximatif. En tenant compte des points expérimentaux, ce programme subdivise le modèle géoélectrique en des blocs

rectangulaires. Il fournit la résistivité vraie de chaque bloc par la méthode de moindres carrés, utilisant la méthode des différences finies. Les valeurs obtenues sur le terrain sont des résistivités apparentes. En effet, la mesure représente une valeur qui intègre les résistivités d'un certain volume du sous-sol. A partir de ces valeurs, on cherche à trouver les épaisseurs et les résistivités vraies des différentes structures en présence. L'utilisation de ce programme va nous donc donner un modèle géologique correspondant aux données de terrain.

Le logiciel d'inversion RES2DINV permet de retrouver les vraies valeurs de la résistivité à partir des valeurs apparentes du terrain. Il reconstitue, par une méthode itérative, tous les différents terrains en résistivités et épaisseurs vraies qui ont donné naissance à nos résistivités apparentes. Il utilise la méthode des différences finies pour le calcul de résistivité puis le lissage par contrainte pour le calcul du modèle approximatif. Il commence par découper le profil en plusieurs blocs dont la taille augmente avec la profondeur, à cause de la perte de résolution de la méthode électrique. Cette augmentation est généralement de 10% ou de 25% suivant le nombre de points et de niveaux d'acquisition du profil en question.

A l'intérieur de chacun de ces blocs, le logiciel attribue une valeur de résistivité apparente calculée à partir des points de mesure. Il calcule ensuite, à l'aide d'une matrice aux dérivées partielles (Matrice Jacobienne), la valeur de la résistivité vraie de chaque bloc.



(Source : Manuel de RES2DINV)

Figure 42: Représentation des blocs et des points de mesure

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.

Le logiciel essaie donc à l'aide d'une méthode itérative, de réduire la différence entre les valeurs calculées et mesurées de résistivité apparente en ajustant la résistivité vraie de chaque bloc. Une mesure de cette différence est donnée par l'erreur RMS (Root-Mean-Squared). En général, le modèle le plus fiable est celui qui se situe juste après l'itération où l'erreur RMS ne change plus de manière significative, ce qui arrive habituellement entre 4 et 6 itérations.

Afin de s'approcher de la résistivité réelle du sous-sol, on effectue une inversion des valeurs de résistivités apparentes en deux dimensions ou 2D à l'aide du logiciel RES2DINV.

Cette méthode d'inversion est utilisée par le programme basée sur le principe du « Smoothness constrained method » ou méthode de lissage par contrainte.

Dans cette étape d'inversion, le traitement s'effectue en 3 phases :

- Lecture du fichier des données,
- Inversion itérative par moindres carrés, jusqu'à ce que l'écart quadratique moyen ou RMS soit le plus petit possible,
- Détermination du modèle 2D du sous-sol.

L'organigramme simplifié de traitement du programme est comme suit (figure 43):

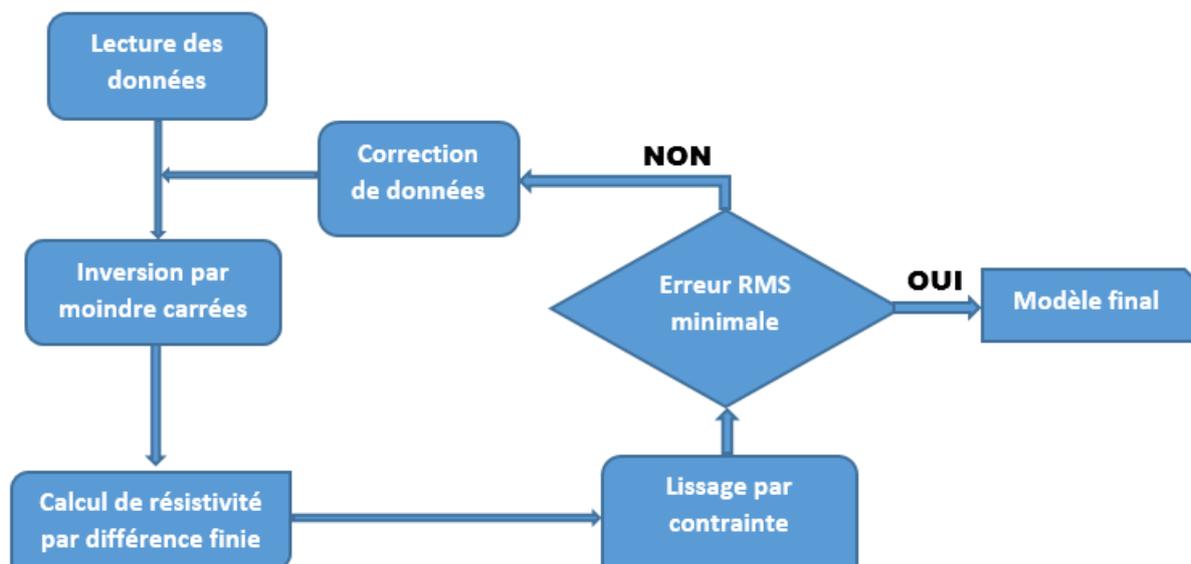


Figure 43: Organigramme simplifié de traitement du programme

Après traitement, le modèle final retenu est présenté sous forme de coupe géoélectrique ou de pseudo-section.

3-1 Coupe géoélectrique ou pseudo-section

Après le traitement des données on obtient la coupe géoélectrique ou pseudo-section. La figure suivante montre un exemple de coupe géoélectrique qui représente à la fois les pseudo-sections de la résistivité et des chargeabilités obtenues après le traitement avec le logiciel RES2DINV.

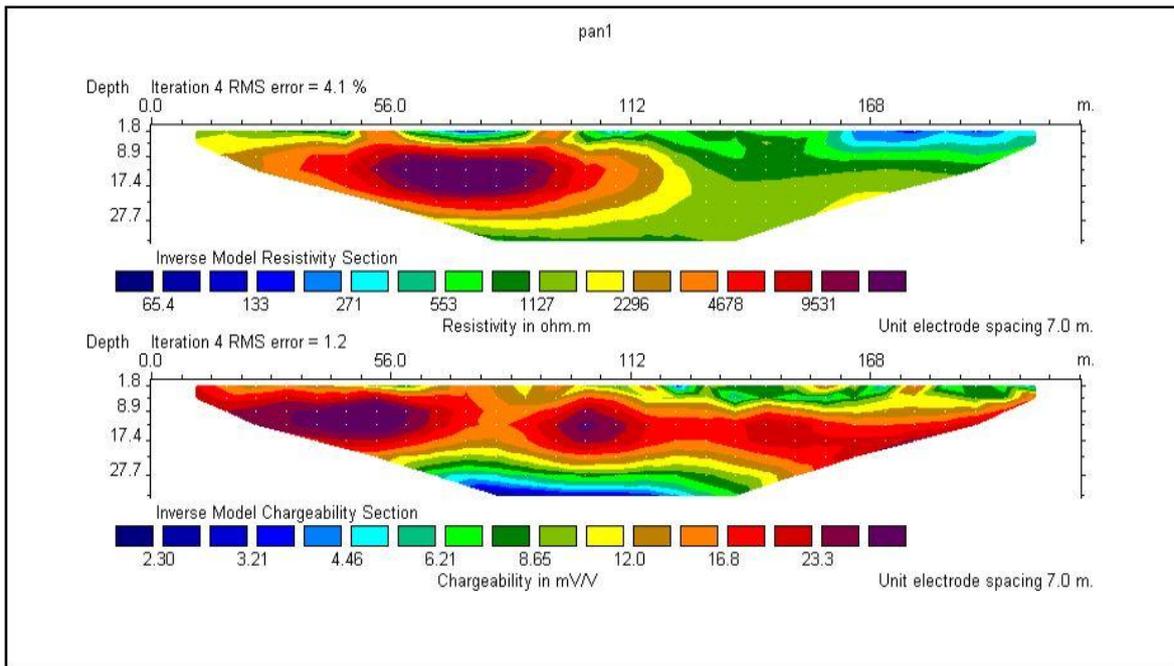


Figure 44: Coupe géoélectrique ou pseudo-section

Un milieu perméable sera un aquifère favorable si en plus d'une perméabilité élevée, il contient une quantité d'eau appréciable dans les vides situés en son sein. En général la porosité dépend de la valeur des chargeabilités du sous-sol. Si la chargeabilité est supérieure à 10mV/V , on a une formation à faible porosité et si la chargeabilité est inférieure à 10mV/V , on a une formation à forte porosité.

3-1-1 Qualité du modèle RMS

A chaque pseudo-section de résistivités calculées est associée une valeur RMS. Le processus d'inversion du programme essaie de réduire la différence entre les valeurs des résistivités apparentes mesurées et les résistivités apparentes calculées par le programme en ajustant les valeurs de résistivités associées à chaque bloc du modèle de résistivité vraie. La mesure de cette différence est donnée par le facteur d'erreur appelé RMS (Root-Mean-Squared).

On considère qu'un modèle ayant une RMS inférieure à 3 est acceptable.

Certaines fois, le modèle ayant l'erreur RMS la plus basse peut montrer des variations de résistivités dans le modèle qui soient irréalistes et n'est pas géologiquement interprétable. La meilleure approche est de choisir le modèle à partir duquel la RMS ne change plus significativement. En général, il se situe entre les troisièmes et sixièmes itérations.

3-1-2 Fonction de vraisemblance ou d'incertitude

La fiabilité des tomographies de la résistivité a été calculée par le logiciel RES2DINV. L'erreur ϵ faite sur les valeurs de la résistivité issues de l'inversion, a été utilisée pour déduire la fonction de « vraisemblance » L_p à partir de la théorie de l'erreur proposée par Gauss.

Cette théorie exprime la loi de densité de probabilité φ par une fonction de la déviation standard de la distribution σ de l'erreur. La formule ci-dessous a été tirée du manuel d'utilisation de ce logiciel :

$$L_{\rho} = \sigma \sqrt{2\pi\varphi} \text{ avec } \varphi(\varepsilon) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-\varepsilon^2}{2\sigma^2}\right)$$

3-1-3 Fonction de sensibilité

La fonction de sensibilité permet de se faire une idée dans quelle mesure les variations de résistivité du terrain influence la mesure du potentiel. Plus la valeur de cette fonction est élevée à proximité des électrodes, plus elle influence la mesure de la différence de potentiel.

La contribution d'un élément de volume de terrain homogène à la différence de potentiel est donnée par Roy & Apparao (1971). Ils définissent la différence de potentiel due à un élément de volume placé en (x, y, z).

La différence de potentiel est mesurée entre deux électrodes de potentiel à la surface d'un demi-espace homogène en termes de résistivité est selon la fonction (issue du manuel d'utilisation du logiciel):

$$\Delta V = \frac{\rho I}{4\pi^2} dz \left[\frac{x(x-a)+y^2+z^2}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2} \{(x-a)^2+y^2+z^2\}^{3/2}} - \frac{(x-a)(x-a-b-c)+y^2+z^2}{\{(x-a)^2+y^2+z^2\}^{3/2} \{(x-a-b-c)^2+y^2+z^2\}^{3/2}} \right. \\ \left. - \frac{x(x-a-b)+y^2+z^2}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2} \{(x-a-b)^2+y^2+z^2\}^{3/2}} + \frac{(x-a-b)(x-a-b-c)+y^2+z^2}{\{(x-a-b)^2+y^2+z^2\}^{3/2} \{(x-a-b-c)^2+y^2+z^2\}^{3/2}} \right] dx dy$$

Cette fonction permet de se rendre compte de l'influence d'un volume unitaire sur la mesure de la différence de potentiel. En l'intégrant en fonction de la profondeur, on peut calculer les coefficients qui permettent d'inverser les pseudos sections et d'obtenir des coupes 2D du sous-sol en résistivités et profondeurs.

4- Travaux géophysiques effectués

Les travaux géophysiques qu'on a effectués sur les quatre fokontany (Anjeko, Beanantara Sud, Ankilikira, Tanandava) sont :

- Un sondage électrique,
- Un sondage électromagnétique,
- Un panneau électrique.

-

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET INTERPRETATION

CHAPITRE VI : RESULTATS ET INTERPRETATION DANS CHAQUE FOKONTANY

Ce chapitre est consacré aux résultats et interprétation à partir de l'analyse géomorphologique, hydrogéologique, et géophysique.

1- Résultats des travaux géophysique dans chaque fokontany

1-1- Site Anjiky : (Site n°01 : Lat= - 25,05915°; Long= 46,24004°; Alt = 289 m)

1-1-1- Travaux géophysiques effectués et interprétation de chaque résultats :

Au niveau du fokontany Anjiky, un sondage électrique de dispositif Schlumberger, quatre sondages TDEM de 50mx50m et deux panneaux électriques ont été effectués sur les deux points proposés (P1 et P2).

Le plan de masse est représenté par la figure :

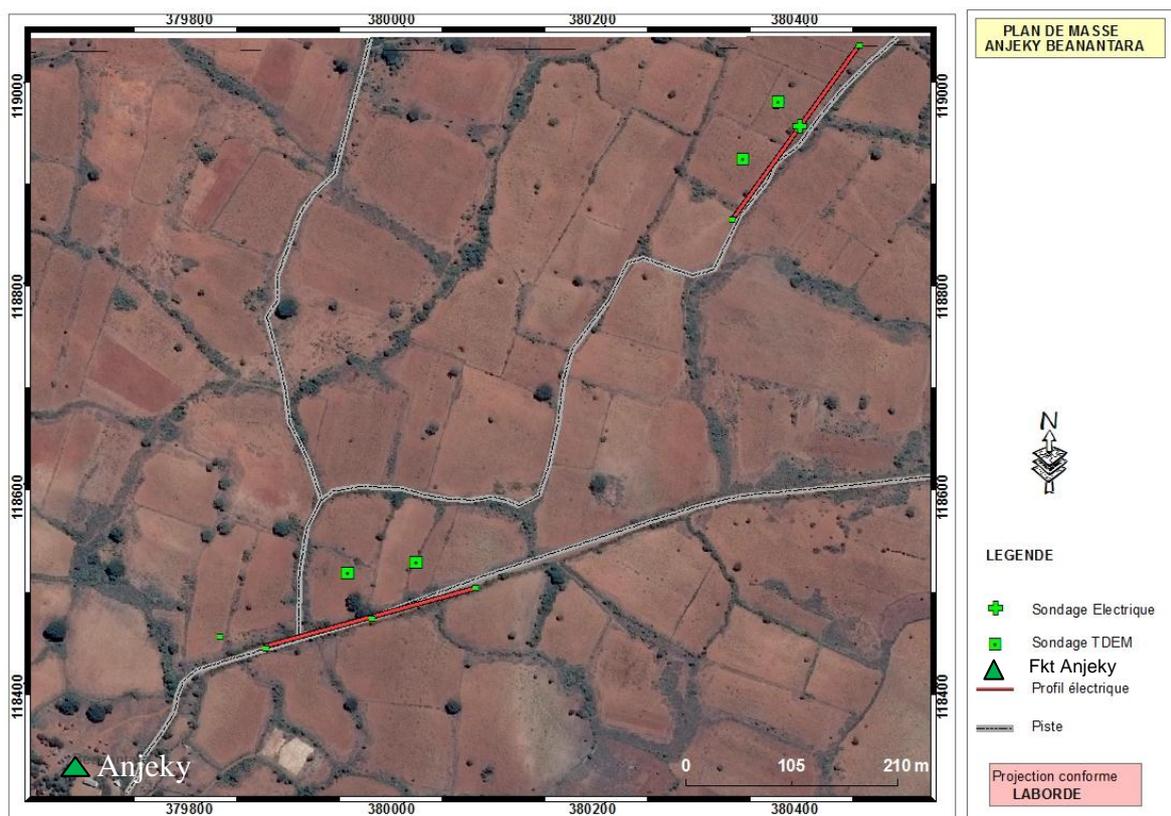


Figure 45: Plan de masse des emplacements des mesures géophysiques

Le point P1 se trouve au bord de la route vers Berenty. A l'Est du village d'Anjiky Beanantara, près d'une zone aménagée pour capter et stocker des eaux de pluie (impluvium). Situé sur un

plateau à faible pente de direction Nord Est, P1 coupe le sens d'écoulement d'eau durant la saison de pluie.

Le point P2 est près d'un hameau, au Nord du point P1, à 900m du village d'Anjeki Beanatara, sans risque de pollution. Sur un versant peu incliné vers le bas fond de Berenty. P2 traverse un ancien écoulement d'eau temporaire.

P1 (lat = -25, 05246°; long= 46, 24687°; Alt = 246 m)

Pour avoir plus d'information sur la succession des couches et d'en déduire la profondeur de la cible hydrogéologique au niveau du premier point P1, un sondage électrique, un sondage électromagnétique ou TDEM et un panneau électrique y ont été réalisés.

La figure suivante présente l'allure générale de la courbe ainsi obtenue :

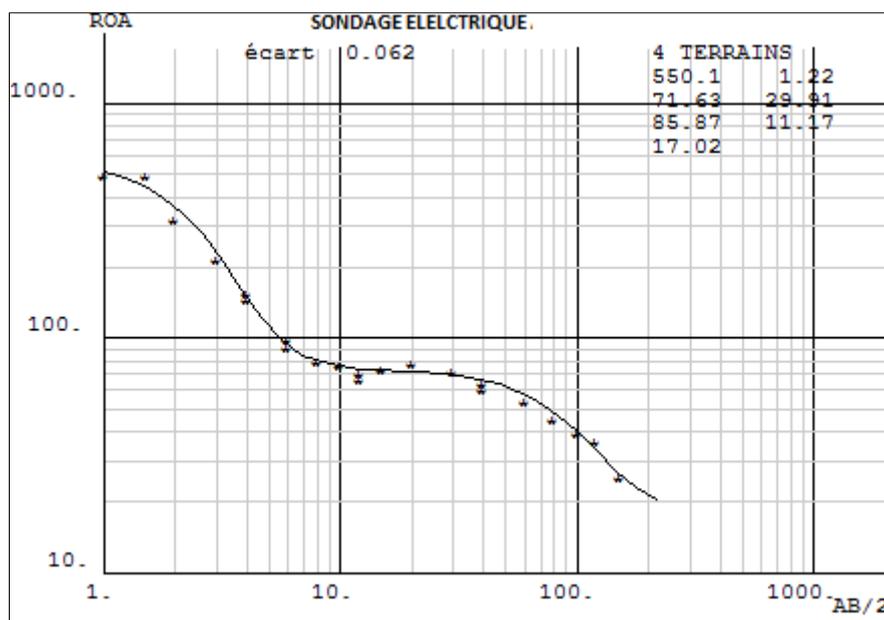


Figure 46: Courbe de sondage électrique au point P1 à Anjeki

La courbe de sondage électrique montre 4 terrains successifs :

- une mince formation superficielle résistante, de résistivité 550 Ωm, qui correspondrait à des sables roux ;
- une formation faiblement résistante de résistivité 72 Ωm, de 30 m d'épaisseur, qui pourrait être un sable gréseux ;
- une formation résistante de résistivité 86 Ωm se trouvant à 30m de profondeur environ qui pourrait être notre cible, d'environ 12 m d'épaisseur ;
- une formation conductrice de résistivité 17 Ωm qui est caractérisée comme des argiles sableuse se trouvant à plus de 27m de profondeur.

Afin de mettre en évidence l'extension latérale de la cible hydrogéologique, un panneau électrique de longueur 217m dont la distance inter-électrodes est de 7 m, a été réalisé au

centre du sondage électrique et suit la direction SW-NE. La profondeur d'investigation est de l'ordre de 38 m. La figure suivante montre la coupe géoélectrique au point P1 (figure 28)

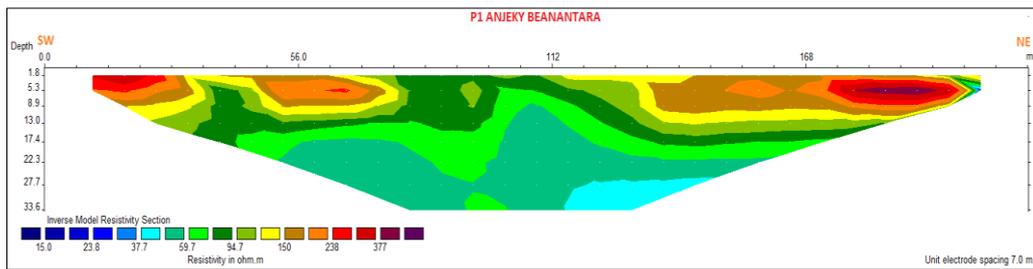


Figure 47: Coupe géoélectrique au point P1 Anjeki

Cette coupe géoélectrique met en évidence la présence d'une formation superficielle de résistivité supérieure à $150\Omega\text{m}$ de couleur marron vers violet et d'épaisseur de l'ordre de 10m. Elle correspond au sable roux ancien. Elle est intercalée par la formation du sable gréseuse moyennement résistante de résistivité comprise entre $50\Omega\text{m}$ à $150\Omega\text{m}$ au centre de ce profil. En tenant compte de résultat de sondage électrique en ce point, on a observé que cette coupe ne met pas en évidence la formation conductrice de résistivité de l'ordre de $17\Omega\text{m}$ qui est le substratum imperméable de notre cible hydrogéologique en question.

Ainsi un autre point P2 qui se trouve en amont et au sud-ouest du profil 1 a été choisi pour avoir plus d'information sur la structure de notre cible hydrogéologique en question. Ce profil suit la direction NE-SW, et coupe le ruisseau temporaire. La figure 29 illustre le modèle obtenue.

P2 (lat= -25, 05682°; long=46, 24269°; Alt =271m)

Aux alentours du point proposé P2, un sondage TDEM de boucle $50\text{m}\times 50\text{m}$ et un panneau électrique de dispositif Wenner ont été réalisés pour localiser la structure du système aquifère en profondeur et de mettre en évidence son extension latérale.

La figure 29 suivante présente la coupe géoélectrique issue du panneau électrique de distance inter-électrodes 7 m, de longueur de ligne 217 m dont la profondeur d'investigation est de l'ordre de 38 m.

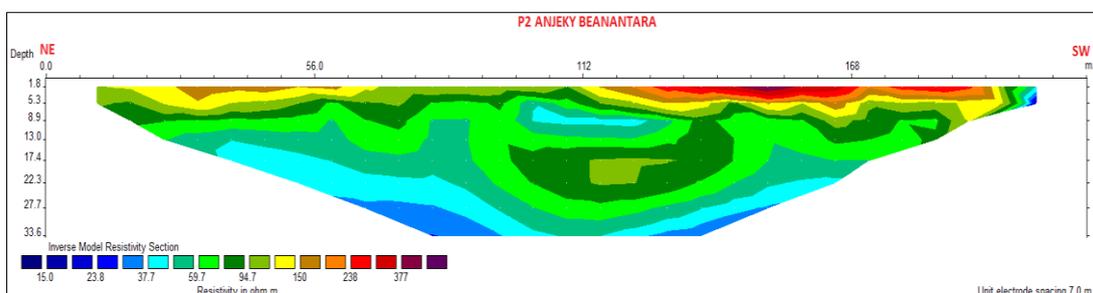


Figure 48: Coupe géoélectrique au point P2 Anjeki

La coupe géoélectrique met évidence trois formations dont :

-Une formation superficielle résistante représentée par les couleurs jaune, marron, rouge et violet sur la figure de résistivité supérieur à $120 \Omega\text{m}$ qui est située au début du profil et entre les abscisses $x=112 \text{ m}$ et $x=203 \text{ m}$. Elle correspondrait à des sables gréseuses.

-Une formation moyennement résistante de résistivité entre 45 et $90 \Omega\text{m}$, d'épaisseur plus de 20 m colorée en vert sur la figure qui correspondrait à des sables fin gréseux. Compte tenu de sa gamme de résistivité, elle peut correspondre à notre cible hydrogéologique ayant une profondeur de 30 m environ.

-Une formation conductrice de résistivité inférieure à $40 \Omega\text{m}$, située en profondeur et peinte en bleu se comportant comme un substratum qui correspondrait à des argiles sableuses.

Les résultats des sondages TDEM sont annexes.

1-1-2- Conclusion

Ces résultats obtenus mettent en évidence l'existence d'une nappe de sable fin à grès calcaire, à 30m de profondeur qui pourra être exploité par un ouvrage de forage.

1-2- Site Beanantara Sud : (Site n°02: Lat= $-25,06067^\circ$; Long= $46,23920^\circ$; Alt = 297 m)

1-2-1- Travaux géophysique effectuée et interprétation de chaque résultats

Un sondage électrique de dispositif Schlumberger, trois sondages TDEM et deux panneaux électriques ont été effectué sur le site proposé par l'étude hydrogéologique antérieur. La cible hydrogéologique est toujours le sable fin et grès calcaire.

La figure suivante représente le plan de masse :



Figure 49: Plan de masse des emplacements des mesures géophysiques

Le point proposé est situé au nord du village de Beanantara Sud, il est installé sur un versant à faible pente. Il cible toujours le sable fin renfermant de grès calcaire.

Le sondage électrique de longueur de ligne AB= 400m a été implanté au niveau des coordonnées géographiques Lat= - 25,05733° ; Long= 46,23521° pour mettre en évidence la succession des couches suivant la profondeur et de mettre en évidence la structure du système aquifère.

La figure suivante montre le résultat du sondage électrique :

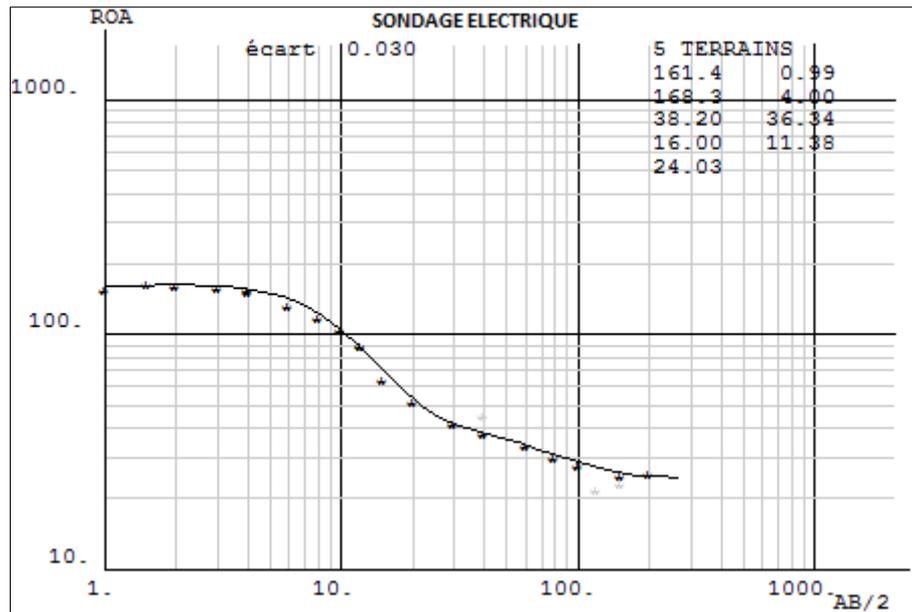


Figure 50: Coupe Géoélectrique Beanantara Sud

La courbe de sondage électrique montre 5 terrains successifs :

- une mince formation superficielle résistante, de résistivité 161Ωm, qui correspondrait aux sables roux anciens
- une formation moyennement résistante, de 4m d'épaisseur, qui correspondrait toujours au sable roux ancien
- une formation faiblement résistante de résistivité 38Ωm se trouvant à 5m de profondeur environ pourrait constituer notre cible hydrogéologique, d'environ 36m d'épaisseur
- une formation conductrice de résistivité 16Ωm pourrait être probablement à une formation argileuse imperméable, qui se trouve à plus de 40m de profondeur

En générale, la courbe de sondage électrique met en évidence l'existence de deux nappes de sable fin et grès calcaire, de 36m d'épaisseur et se trouvant respectivement à 5m et à 40m de profondeur.

Un panneau électrique dont la distance inter-électrodes est de 7m a été implanté à l'aplomb du sondage électrique.

La figure suivante montre la coupe géoélectrique ainsi obtenue :



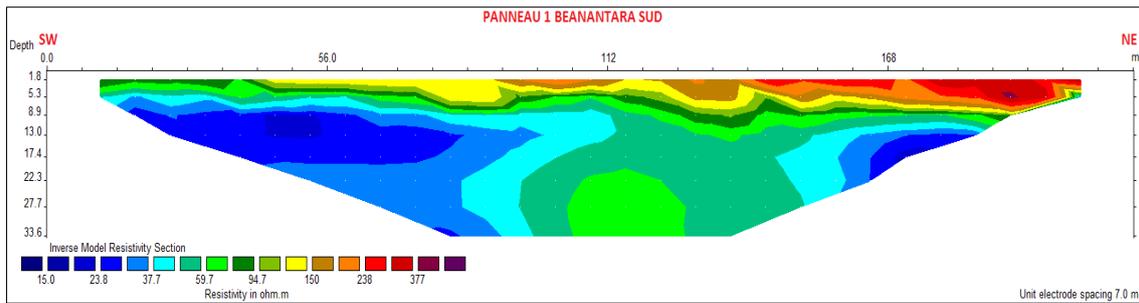


Figure 51: Coupe géoélectrique Beanantara Sud

Cette coupe présente une formation résistante de résistivité supérieure à $150\Omega\text{m}$ et d'épaisseur de l'ordre de 8m. Elle apparaît tout au long de ce profil et correspondrait au sable roux ancien. Au-delà de cette profondeur, notre cible hydrogéologique est délimitée latéralement entre les abscisses $x=94\text{m}$ et $x=154\text{m}$ par une formation conductrice de résistivité inférieure à $20\Omega\text{m}$. On a observé que cette coupe ne nous a pas permis de détecter le substratum imperméable.

Ainsi, un autre panneau électrique a été implanté sur un autre point en amont de ruisseau temporaire. Ce panneau a été réalisé avec une distance inter-électrode de 7m dont la longueur de ligne 217m et la profondeur d'investigation de l'ordre de 35m.

La figure suivante montre la coupe géoélectrique :

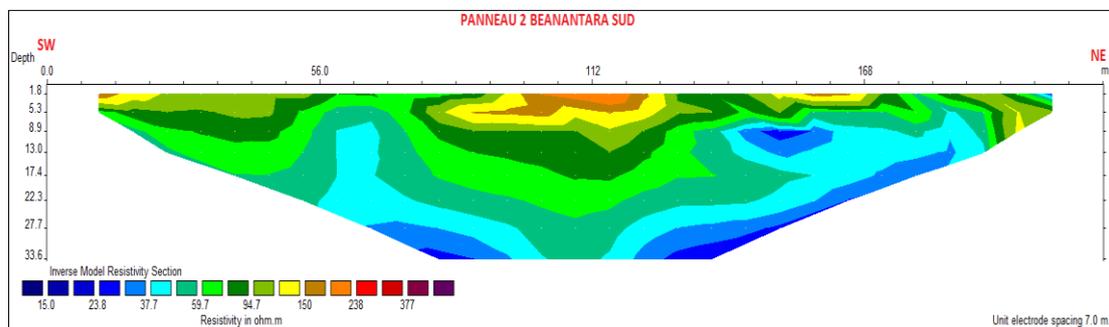


Figure 52: Coupe géoélectrique au point P2

En général la structure est presque semblable à celle du premier modèle. Par contre ce dernier nous a mis en exergue la formation conductrice imperméable à plus de 40m de profondeur à l'aplomb du centre de profil. L'inflexion significative du toit supérieur de substratum indiquée par la structure géoélectrique en P2 est un bon signe pour le système de réservoir de l'aquifère.

Les résultats des sondages TDEM sont en annexes.

1-2-2- Conclusion

Ces résultats obtenus mettent en évidence l'existence d'une nappe de sable fin renfermant de grès calcaire, à 35m de profondeur qui pourra être exploité par un ouvrage de forage.

1-3- Site ANKILIKIRA: (Site n°03: Lat= - 25,06879° ; Long= 46,24990° ; Alt = 144 m)

1-3-1- Travaux géophysique effectuée et interprétation de chaque résultats :

Selon l'étude hydrogéologique, un site a été proposé pour l'étude géophysique.

Au site proposé dans le village d'Ankilikira, un sondage électrique, deux sondages TDEM de boucle 50mx50m de cote et trois panneaux électriques de dispositif Wenner ont été réalisés.

La figure suivante montre l'emplacement des mesures géophysique :



Figure 53: Plan de masse des emplacements des mesures géophysique

Un sondage électrique a été effectué pour mettre en évidence la succession des couches suivant la profondeur et de mettre en évidence la structure du système aquifère.

La figure suivante montre le résultat de ce sondage électrique :

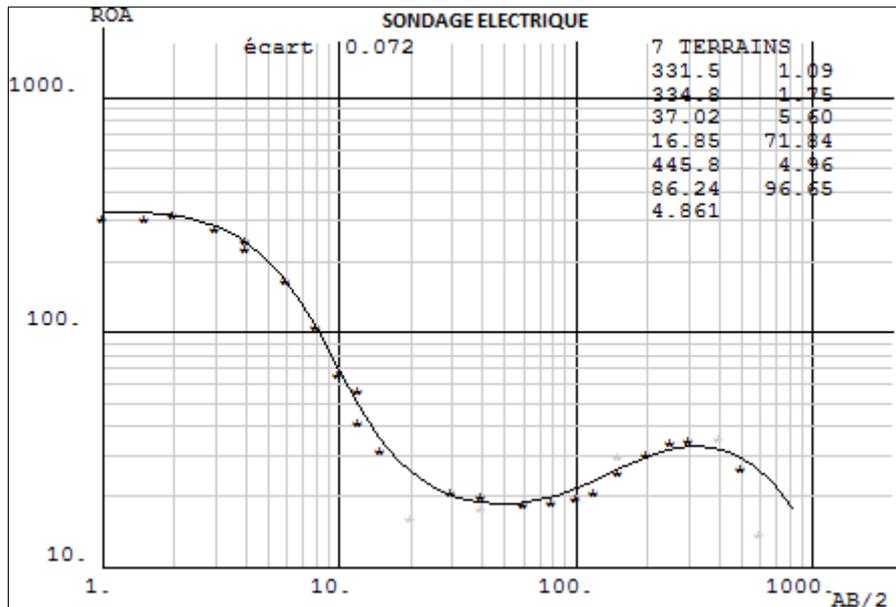


Figure 54: courbe de sondage électrique au site Ankilikira

La courbe de sondage électrique montre 7 terrains successifs :

- une mince formation superficielle résistante, de résistivité $332\Omega\text{m}$, qui correspondrait au sable roux ancien.
- une formation résistante, de 2m d'épaisseur, qui correspondrait aux toujours au sable roux ancien.
- une formation faiblement résistante de résistivité $37\Omega\text{m}$ se trouvant à 3m de profondeur environ qui pourrait être la nappe superficielle de sable argileuse.
- une formation conductrice de résistivité $16\Omega\text{m}$, d'environ 71m d'épaisseur formant une barrière d'argile.
- une formation résistante de résistivité $445\Omega\text{m}$, de 5m d'épaisseur qui correspondrait au grès, qui se trouve à plus de 80m de profondeur.
- une formation moyennement résistante très épaisse de résistivité $86\Omega\text{m}$, qui se trouve à plus de 86m de profondeur. Elle correspondrait au sable fin et elle se repose sur le substratum imperméable de résistivité $5\Omega\text{m}$.

En générale, la courbe de sondage électrique met en évidence l'existence de deux nappes, de 6m et 96m d'épaisseur et se trouvant respectivement à 6m et à 86m de profondeur. Ces deux nappes pourraient correspondre au sable argileuse et sable fin qui est notre cible hydrogéologique.

Aussi, un panneau électrique dont la distance inter-électrodes est de 5m a été implanté près du puits traditionnel.

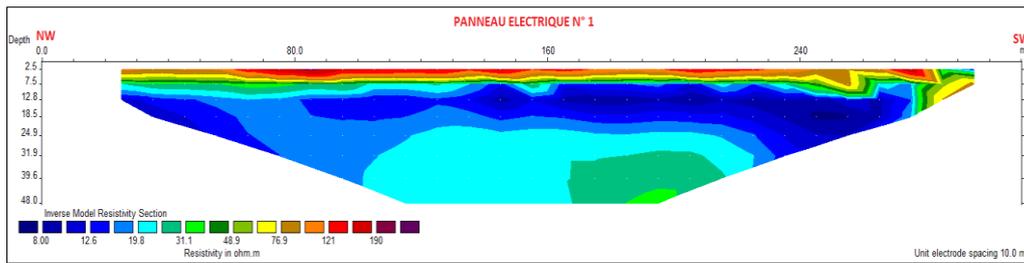


Figure 55: Coupe géoélectrique n°1 au site Ankilikira

La coupe géoélectrique montre des formations quasiment tabulaires et semblables dans toute la zone. Elle met bien en évidence la présence de la nappe libre de résistivité aux alentours de 30Ωm qui pourrait être exploité par un ouvrage de puits. Cette nappe libre repose directement sur la formation conductrice imperméable à environ 15 m de profondeur. Cette coupe confirme le résultat établi par le sondage électrique précédent.

Pour vérifier l'extension de la structure sous-jacente, un autre panneau électrique de même caractéristique que celui du précédent a été implanté perpendiculairement. La figure suivante montre le modèle géoélectrique ainsi obtenue.

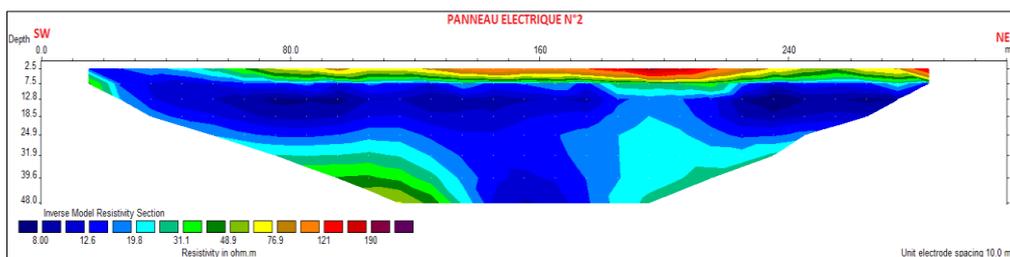


Figure 56: Coupe géoélectrique n°2 au site Ankilikira

La coupe géoélectrique ci-dessus met en exergue la dominance d'une barrière argileuse. Elle définit toujours la présence d'une nappe superficielle à environ 15m de profondeur dans la partie NE du profil.

Pour mettre en évidence la structure profonde un troisième panneau électrique a été implanté parallèlement au sud du premier profil. La distance inter-électrode est de 12m dont la profondeur d'investigation est de l'ordre de 60m. La figure suivante montre le modèle géoelectrique obtenue.

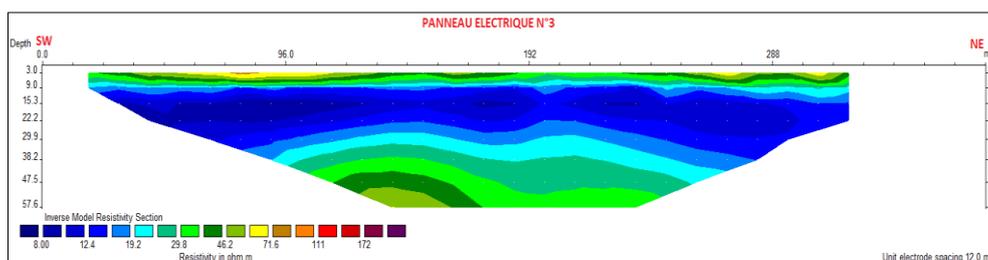


Figure 57: Coupe géoélectrique n°3 au site Ankilikira

Le résultat du panneau n° 3 confirme toujours les résultats des deux panneaux précédents.

Les résultats des sondages TDEM sont en annexes.

1-3-2- Conclusion

Notre cible hydrogéologique a été bien confirmée, en conséquence nous proposons un ouvrage de puits de 15m de profondeur.

1-4- Site TANANDAVA : (Site n°04 : Lat=25,09280°; Long=46,24776° ; Alt= 277 m)

1-4-1- Travaux géophysiques effectuées et interprétation de chaque résultats

D'après les études hydrogéologiques un site a été proposé pour l'étude géophysique.

Au site proposé pour l'étude géophysique, un sondage électrique, trois sondages TDEM de boucle 50mx50m, et trois panneaux électriques quasiment parallèles ont été effectués.

La figure suivante montre le plan de masse des mesures géophysiques :



Figure 58: Plan de masse des mesures géophysiques

Trois panneaux électrique quasiment parallèles ont été aussi effectués dont les figures suivantes représentent les coupes géoélectrique :

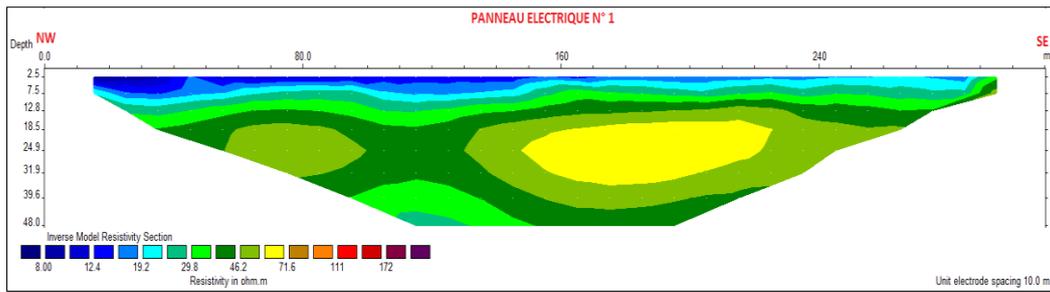


Figure 59: Coupe géoélectrique n°1 Tanandava

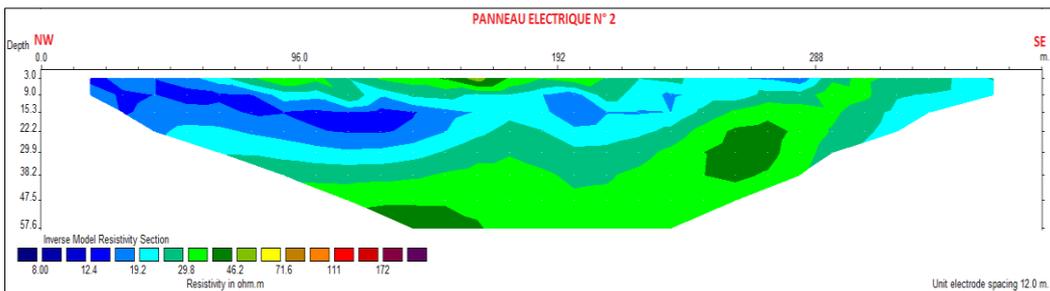


Figure 60: Coupe géoélectrique n°2 Tanandava

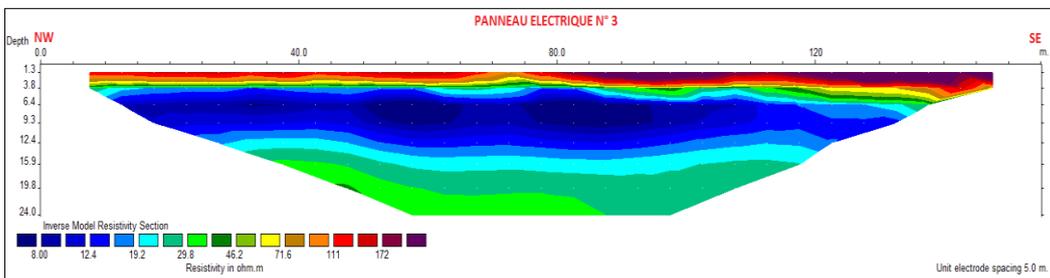


Figure 61: Coupe géoélectrique n°3 Tanandava

Les trois panneaux électriques dont la distance inter-électrode varie de 5m, 10m et 12m ont été implantées parallèlement et suivent la direction NW-SE. La distance inter-panneau est de l'ordre de 50m. L'objectif est de mettre en évidence l'extension de la structure en profondeur et de tenter de déterminer la cible hydrogéologique en question. En générale l'allure des panneaux est presque semblable. Ils mettent en évidence la dominance de la formation conductrice qui est une barrière argileuse.

En tenant compte des résultats obtenus, aucun point favorable pour l'exploitation de notre cible hydrogéologique n'a été détecté.

Les résultats des sondages TDEM sont en annexes.

1-4-2- Conclusion

D'après les investigations géophysiques aucun point favorable n'a été détecté, l'exploitation d'eau souterraine n'est pas appropriée dans cette zone.

CHAPITRE VII : SYNTHÈSE DES RESULTATS

Les études géologiques, hydrogéologiques, géophysiques ont permis de situer les points de forage dans chaque fonkotany, les points d'eaux proposées sont ceux qui répondent aux exigences suivantes :

- point le plus proche du village,
- débit suffisant toute l'année,
- existence de réservoir confirmé par prospection géophysique.

1- Récapitulation des points de forage proposés

1-1- Points situés à Anjaky

Les tableaux ci-dessous résument les caractéristiques des points proposés P1 et P2 situés à Anjaky. Tous les deux points ont une forte probabilité de réussite selon les résultats.

Tableau 1 : caractéristiques du point proposé P1 et P2 à Anjaky

Point P1	Caractéristiques
Coordonnées géographiques	Lat : -25,05682° ; Long : 46,24269°
Localisation	Au Nord-Est du chef-lieu de fonkotany
Nombre d'habitants	680
Distance par rapport au village	410 m
Géomorphologie	Versant à faible pente
Ressources en eau et approvisionnement	Absence de point d'eau dans le village. Impluvium fonctionnel de janvier à Mars, à partir du mois de Mars approvisionnement dans la rivière Mandrare à 7km environ du village
Végétation	Savane arborée
Géologie de surface	Sable roux
Nappe aquifère détectée	Sable fins avec banc de grès à ciment calcaire
Profondeur de la nappe	35 m (d'après les résultats géophysique)
Type d'ouvrage proposé	Forage
Porosité	Bonne d'après la nature géologique de la formation
Perméabilité	10 ⁻⁵ m/S d'après la nature géologique de la formation
Conductivité	<500µS/cm (à partir des observations sur terrain et documentation)
Qualité estimée de l'eau	Faiblement minéralisée, formée de minéraux purs de quartz SiO ₂ et de potassium issus de l'argile
Réalimentation	Précipitations et rivière de Mandrare
Probabilité de réussite	Elevée
Point P2	Caractéristiques
Coordonnées géographiques	Lat : -25,05246° ; Long : 46,24687°
Localisation	Au Nord-Est du chef-lieu de fonkotany
Nombre d'habitants	680
Distance par rapport au village	1350 m
Géomorphologie	Versant à faible pente
Ressources en eau et approvisionnement	Absence de point d'eau dans le village. Impluvium fonctionnel de janvier à Mars, à partir du mois de Mars approvisionnement dans la

	rivière Mandrare à 7km environ du village
Végétation	Savane arborée
Géologie de surface	Sable roux
Aquifère détectée	Sable fins avec banc de grès à ciment calcaire
Profondeur de la nappe	60 m (à partir des résultats géophysiques)
Type d'ouvrage proposé	Forage
Porosité	Bonne d'après la nature géologique de la formation
Conductivité	<500µS/cm (à partir des observations sur terrain et documentation)
Qualité estimée de l'eau	Faiblement minéralisée, formée de minéraux purs de quartz SiO ₂ et de potassium issus de l'argile
Réalimentation	Précipitations et rivière de Mandrare
Probabilité de réussite	Elevée

1-2- Points situés à Beanatara Sud

Le tableau ci-dessous relate les caractéristiques du point d'eau proposé situé à Beanatara sud ; la probabilité de réussite est aussi élevée.

Tableau 2 : caractéristiques du point proposé P2 à Beanatara sud

Point P2	Caractéristiques
Coordonnées géographiques	Lat : -25,06067° ; Long : 46,23920°
Localisation	A l'Ouest du chef lieu de Fonkotany
Nombre d'habitants	1100
Distance par rapport au village	690 m
Géomorphologie	Versant à faible pente
Ressources en eau et approvisionnement	Absence de point d'eau dans le village. Impluvium fonctionnel de janvier à Mars, à partir du mois de Mars approvisionnement dans la rivière Mandrare à 7 km environ du village
Végétation	Zone de culture
Géologie de surface	Sable roux
Aquifère détectée	Sable fins avec banc de grès à ciment calcaire
Profondeur de la nappe	45m (à partir des résultats géophysiques)
Type d'ouvrage proposé	Forage
Porosité	Bonne, d'après la nature géologique de la formation
Perméabilité	10 ⁻³ m/s d'après la nature géologique de la formation
Conductivité	<500µS/cm (à partir des observations sur terrain et documentation)
Qualité estimée de l'eau	Faiblement minéralisée, formée de minéraux purs de quartz SiO ₂ et de potassium issus de l'argile
Réalimentation	Précipitations et rivières de Mandrare
Probabilité de réussite	Elevée

1-3- Points situés à Ankilikira

Les caractéristiques du point d'eau proposé à Ankilikira sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Caractéristiques du point proposé P1 à Ankilikira

Point P1	Caractéristiques
Coordonnées géographiques	Lat : - 25,06879° ; Long : 46,24900°
Localisation	Au sud du chef-lieu de fonkontany
Nombre d'habitants	800
Distance par rapport au village	650 m
Géomorphologie	Plateau étendu
Ressources en eau et approvisionnement	Absence de point d'eau dans le village. Impluvium fonctionnel de janvier à Mars, à partir du mois de Mars approvisionnement dans la rivière Mandrare à 12 km environ du village.
Végétation	Zone de culture
Géologie de surface	Sable roux
Aquifère détectée	Sable argileux
Profondeur de la nappe	15 m (à partir des résultats géophysiques)
Type d'ouvrage proposé	Puits
Porosité	Moyenne d'après la nature géologique de la formation
Perméabilité	10 ⁻³ m/s d'après la nature géologique de la formation
Conductivité	<500µS/cm (à partir des observations sur terrain et documentation)
Qualité estimée de l'eau	Faiblement minéralisée, formée de minéraux purs de quartz SiO ₂ et de potassium issus de l'argile
Réalimentation	Précipitation
Probabilité de réussite	Moyenne

1-4- Points situés à Tanandava

D'après les études multidisciplinaires aucun point d'eau n'a été détecté dans ce fokotany.

2- Devis estimatifs

2-1- coût estimatifs des forages

2-1-1- coût estimatifs des points d'eau proposés à Anjiky

Le coût estimatif des forages des deux points P1 et P2 sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous :

P1: Lat : -25,05682° ; Long : 46,24269°

P2: Lat : -25,05246° ; Long : 46,24687°

Installation et repli de chantier:

N°	Désignation des ouvrages	Unité	P1 à Anjiky	P2 à Anjiky	Quantité	Prix unitaires	Prix total
						(MGA)	(MGA)
1	Mobilisation atelier, installation de chantier	U	1	0	1	9 000 000	9 000 000
2	Mouvement inter-site	U	1	1	2	2 500 000	5 000 000

3	Démobilisation atelier, repli de chantier	U	0	1	1	9 000 000	9 000 000
4	Frais de camp (logement, stockage, gardiennage, cantine)	U	1	1	2	1 050 000	4 200 000
Total de l'installation et repli de chantier : 27 200 000							

Réalisation des forages

MONTANT TOTAL hors TVA	61 150 000
TVA 20%	12 230 000
MONTANT TOTAL TTC	73 380 000

(Source : Dévis estimatif de l'étude de faisabilité APD d'Andranovory, « «Bush Proof » »)

2-1-2- coût estimatif du point d'eau à Beanantara Sud

Le coût estimatif du forage de puits P2 à Beanantara Sud est récapitulé dans les tableaux

5	Aménagement du chantier, mise en place atelier	U	1	1	2	250 000	500 000
6	Forage au rotary (air ou boue, diamètres de 4"1/2 à 12"1/8)	ml	35	25	60	330 000	19 800 000
7	Forage au marteau fond de trou (MFT, diamètre de 4"1/2 à 8")	ml	0	35	35	390 000	13 650 000
Total de la réalisation des forages : 33 950 000							

suivant :

P2 : Lat : -25,06067° ; Long : 46,23920°

Installation et repli de chantier

N°	Désignation des ouvrages	Unité	P2 à Beanantara sud	Quantité	Prix unitaires	Prix total
					(MGA)	(MGA)
1	Mobilisation atelier, installation de chantier	U	1	1	9 000 000	9 000 000
2	Mouvement inter-site	U	0	0	2 500 000	-

3	Démobilisation atelier, repli de chantier	U	1	1	9 000 000	9 000 000
4	Frais de camp (logement, stockage, gardiennage, cantine)	U	1	1	1 050 000	1 050 000
Total de l'installation et repli de chantier : 19 050 000						

Réalisation des forages :

(Source : Devis estimatif de l'étude de faisabilité APD d'Andranovory, Bush Proof)

2-1-3- coût estimatif du point d'eau proposé à Ankilikira

Le coût estimatif du forage de puits P1 à Ankilikira est récapitulé dans les tableaux ci-dessous :

P1 : Lat : - 25,06879° ; Long : 46,24900°

5	Aménagement du chantier, mise en place atelier	U	1	1	250 000	250 000
6	Forage au rotary (air ou boue, diamètres de 4"1/2 à 12"1/8)	ml	0	0	330 000	-
7	Forage au marteau fond de trou (MFT, diamètre de 4"1/2 à 8")	ml	35	35	390 000	13 650 000
Total de la réalisation des forages : 13 900 000						

MONTANT TOTAL hors TVA	32 950 000
TVA 20%	6 590 000
MONTANT TOTAL TTC	39 540 000

Installation et repli de chantier:

N°	Désignation des ouvrages	Unité	P1 à Ankilikira	Quantité	Prix unitaires	Prix total
					(MGA)	(MGA)
1	Mobilisation atelier, installation de chantier	U	1	1	9 000 000	9 000 000
2	Mouvement inter-site	U	0	0	2 500 000	-

3	Démobilisation atelier, repli de chantier	U	1	1	9 000 000	9 000 000
4	Frais de camp (logement, stockage, gardiennage, cantine)	U	1	1	1 050 000	1 050 000
Total de l'installation et repli de chantier : 19 050 000						

Réalisation des forages :

MONTANT TOTAL hors TVA	24 250 000
TVA 20%	9 700 000
MONTANT TOTAL TTC	33 950 000

(Source : Devis estimatif de l'étude de faisabilité APD d'Andranovory, Bush Proof)

5	Aménagement du chantier, mise en place atelier	U	1	1	250 000	250 000
6	Forage au rotary (air ou boue, diamètres de 4"1/2 à 12"1/8)	ml	15	15	330 000	4 950 000
7	Forage au marteau fond de trou (MFT, diamètre de 4"1/2 à 8")	ml	0	0	390 000	-
Total de la réalisation des forages : 5 200 000						

2-1-4- coût estimatif du point d'eau proposé à Tanandava

Aucun point d'eau n'a été trouvé dans ce fonkotany donc il n'y a pas de travaux de forage.

2-2- Récapitulation des coûts de forage estimatif

Fonkotany	Montant Total TTC
Anjeko	73 380 000
Beanantara	39 540 000

Ankilikira	33 950 000
Tanandava	-

CONCLUSION GENERALE

Grâce aux études hydrogéologiques classiques appuyées par les explorations géophysiques du sous-sol de la commune Beanantara, des points ont été mise en évidence et cela nous permet d'indiquer les points de forage et d'en tirer quelques aspects hydrogéologiques de cette zone.

On rencontre deux niveaux de nappe d'eau dans cette zone: nappe d'eau superficielle localisée entre 0 et 20m et une autre nappe d'eau peu profonde entre 30 et 60m. Deux types de nappe ont été identifiés dans cette étude :

- Nappe de sable fins avec banc de grès à ciment calcaire ;
- Nappe de sable argileux.

Les travaux de terrain effectués dans cette commune ont permis de réaliser non seulement ce travail mais aussi de comprendre le fonctionnement des eaux sous-terraines, et ceci depuis son écoulement depuis la surface jusqu'à son stockage dans les nappes aquifère.

Pour la suite de cette étude, une étude hydrochimique mérite d'être approfondie afin de faire ressortir les facies des eaux rencontré dans les deux nappes et aussi faire des essais de pompage pour connaître les caractéristiques hydrauliques de chaque aquifère comme la perméabilité et la transmissivité.

Pour les voies futures de recherche, vu que la zone d'étude est proche de la mer (Océan Indien) la désalinisation de l'eau de mer pourrait être une issue possible pour l'adduction d'eau potable dans cette région.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AUROUZE J., 1959. Hydrogéologie du Sud de Madagascar, Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Paris, service géologique, M.E.M., 191p.

BATTISTINI R., 1964. L'extrême-Sud de Madagascar, étude géomorphologique. Tome I : le relief de l'intérieur, Thèse de Doctorat, Université de Madagascar, 330p.

BATTISTINI R., 1969. Les modifications du climat à Madagascar au Plio-Quaternaire. Mém. Académie Malgache. Mélanges offerts à la mémoire du Dr. Henri Louis-Poisson, fasc XLIII, pp 103-114.

BESAIRIE H., 1959 : Les recherches hydrogéologiques dans le bassin d'Ambovombe(Bureau de géologie de Madagascar).

BESAIRIE H., 1963, Géologie de Madagascar, services géologique, M.E.M.

BESAIRIE H., 1944b. Hydrogéologie de l'extrême sud. Service géologique A.153

CASTANY G., 1982. Principes et méthodes d'hydrogéologie, Dunod, Paris ,30 pages

Centre de Recherches, D'étude et D'appui A L'analyse Economique à Madagascar. (CREAM) 2013.

DECARY R., 1940. L'Androy, essai de monographie régionale. Société d'Edition géographiques, maritimes et coloniales, Paris

DESCLOITRES M., 1998. Les sondages électromagnétiques en domaine temporel (TDEM) : application à la prospection d'aquifères sur les volcans de Fogo (Cap Vert) et du Piton de la Fournaise (La Réunion). Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), France, 238p.

DESCLOITRES. Les sondages électromagnétiques domaine temporelle (TDEM) : application à la prospection d'aquifère sur les volcans de Fogo et du Piton de la fournaise (**LaReunion**). (Thèse)

DE MARSILY G. (2004).Cours d'hydrogéologie. Paris.

GARO JOELSON S., 2012. Approche multidisciplinaire de de l'étude hydrogéologique du bassin d'Ambovombe Androy, dans l'extrême sud de Madagascar : Thèse de doctorat en Sciences physique, Université d'Antananarivo, 257p.

Guérin R., Descloitres M., Coudrain A., Talbi A., Gallaire R., 2001. Geophysical surveys for identifying saline groundwater in the semi-arid region of the central Altiplano, Bolivia, Hydrological Processes, 15, pp 3287–3301.

JICA, 2005 : L'approvisionnement en eau potable autonome et durable dans la region de sud de Madagascar de la république de Madagascar.

M JOARISON M., 2010, Détection et caractérisation par les méthodes électriques et hydrogéologiques d'aquifères dans 4 Communes de Vohipeno, Mémoire de DEA, Université d'Antananarivo.

RENARD P. (2002).Cours d'hydrogéologie.

R. GUERIN ; 2007 ; Profondeur d'investigation en imagerie de résistivité électrique

RATSIMBAZAFY A. Bezout; Juillet 2015 ; Etude hydrogéophysique du Fokontany Antolonjanahary, Commune Rurale de Mahavelona, District d'Ankazobe, Région Analamanga, mémoire de fin d'étude Université d'Antananarivo.

RABEMANANA V., 2002. Origine et Caractérisation de la salinité des eaux dans les aquifères de socle : cas de la région de l'Androy (Sud de Madagascar). Thèse de doctorat en Sciences de la terre, Université de Paris 6, 204p.

WEBOGRAPHIE

www.wikipédia.com/ Hydrogéologie (Décembre 2016)

www.wikipédia.com/ cycle de l'eau (Décembre 2016)

www.cap-sciences.net (Décembre 2016)

ANNEXES

CliffsNotes.com

ANNEXE I

Récapitulation des caractéristiques des points d'eau identifiés dans les Communes BEANATARA et MAROALOKA

N	DISTRICT	Commune	Site Fokontany	Coordonnées	Point d'eau identifiée	Type	Minéralisation/conductivité	Ouvrage pour l'exploitation	Profondeur (en m)	Accès	Probabilité
1	AMBOVOMBE	BEANATARA	Anjesty Beanatara	Latitude = - 25,05915° Longitude= 46,24004°	OUI	Nappe de sable fin avec grès à ciment calcaire	<500us, faible minéralisé	Forage	60	Facile	Elevé
2				Lat=-25, 05682° long=46, 24269°	OUI	Nappe de sable fin avec grès à ciment calcaire	<500us, faible minéralisé	Forage	35	Facile	Elevé
3	AMBOVOMBE	BEANATARA	Beanatara Sud	Latitude = - 25,06067° Longitude = 46,23920°	OUI	Nappe de sable fin avec grès à ciment calcaire	<500us, faible minéralisé	Forage	45	Facile	Elevé
4	AMBOVOMBE	BEANATARA	Ankilikira	Latitude = - 25,06879° Longitude = 46,24990°	OUI	Nappe libre superficielle	Non	Puits	15	Facile	Moyenne
5	AMBOVOMBE	BEANATARA	Anjesty Tanandava	Latitude = -25,09280° Longitude = 46,24776°	NON	-		-	-	-	
6	AMBOVOMBE	MAROALOKA	Soatsifa	Latitude = - 25,12040° Longitude = 46,24240°	OUI	Nappe de sable fin avec grès à ciment calcaire	<500us, faible minéralisé	Forage	60	Facile	Moyenne
7	AMBOVOMBE	MAROALOKA	Maropia Nord	Latitude = - 25, 1094° Longitude= 46, 2243°	OUI	Nappe de sable fin avec grès à ciment calcaire	<500us, faible minéralisé	Forage	35	Facile	Élevé

8				Latitude = -25, 28129° Longitude = 46, 94458°	OUI	Nappe superficielle	NON	Puits	5	Facile	moyen
9	AMBOVOMBE	ERADA	Habohabo Sud	Latitude = -25, 28100° Longitude = 46, 94594°	OUI	Nappe de sable argileux piégée dans le calcaire	Entre 1000 a 2000 us Moyennement minéralisé	Forage	25	Facile	Moyen
10	AMBOVOMBE	ERADA	Ambanikily	Latitude = -25, 29605° Longitude = 46, 92713°	OUI	Nappe de sable calcaire	Entre 1000 à 2000 us Moyennement minéralisé, eau dure saumâtre	Forage	100	Facile	Moyen
11	AMBOVOMBE	AMBAZOA	Ambazoa Mazava	Latitude = -25, 35740° Longitude = 46, 84816°	OUI	Nappe de sable calcaire	Entre 1000 a 2000 us Moyennement minéralisé eau dure saumâtre	Forage	50	Facile	Moyen
12				Latitude = -25, 36089° Longitude = 46, 84648°	OUI	Nappe de sable calcaire	Entre 1000 a 2000 us Moyennement	Forage	35	Facile	Elevé

							minéralisé, eau dure saumâtre				
13	AMBOVOMBE	AMBAZOA	Malaindoza	Latitude = - 25, 33094° Longitude = 46, 89021°	OUI	Nappe de sable calcaire	Entre 1000 à 2000 us, fortement minéralise, eau dure saumâtre	Forage	55	Facile	Faible
14	AMBOVOMBE	AMBAZOA	Antanimihery	Latitude = - 25, 38160° Longitude = 46, 79849°	OUI	Nappe de sable calcaire	Entre 1000 à 2000 us, moyenneme nt minéralise, eau dure saumâtre OUI	Forage	50	Facile	Elevé

15	AMBOVOMBE	Sihanamaro	Manja	-	NON	Nappe de sable blanc superficielle	-	-	-	-	
16	AMBOVOMBE	Sihanamaro	Antanandava	Latitude = -5,23858° Longitude = 45, 78473°	OUI	Nappe de sable blanc argileuse	800 us	Puits	12	Facile	Elevée
17	TSIHOMBE	Antaritarika	Ihodo	Latitude = - 25, 36104° Longitude = 45, 65410°	OUI	Nappe d'alluvions	1500 us	Puits	7	Facile	Elevé
18	TSIHOMBE	Antaritarika	Bemozotse	Latitude = -25, 35922° Longitude = 45, 67933°	OUI	Nappe de sable gréseuse	NON	Non exploitable	10	Facile	

19	TSIHOMBE	Anjampaly	Antalahavalala	Latitude = - 25, 47443° Longitude = 45, 51841°	OUI	Nappe de sable à calcaire	2000 a 3000 us, fortement minéralise	Forage	35	Facile	élevé
20	TSIHOMBE	Anjampaly	Antavy	Latitude = - 25, 48869° Longitude = 45, 51734°	OUI	Nappe de sable à calcaire	2000 a 3000 us, fortement minéralise	Forage	35	Facile	élevée
21	TSIHOMBE	Nikoly	Ampilofilo	Latitude = - 25, 42493° Longitude = 45, 55060°	OUI	Nappe de sable argileux	NON	Forage	30	Facile	élevé
22	TSIHOMBE	Anjampaly	Anjampaly	Latitude = - 25, 5095° Longitude = 45, 65125°	OUI	Nappe de sable à calcaire	2000 a 3000 us, fortement minéralise	Forage	28	Facile	élevé
23	TSIHOMBE	Nikoly	Nikoly	-	NON	Nappe de grès calcaires superficiels	-	-	-	-	
24	AMBOVOMBE	Ambonaivo	Ambonaivo	Latitude = - 25, 21200° Longitude = 45, 92381°	OUI	Nappes de sables calcaires	1000 a 2000 us, moyenneme nt minéralise, eau dure saumâtre	Forage	30	Facile	Elevé

Résumé:

- 4 puits favorables (en couleur jaune)
- 7 forages favorables avec de qualité d'eau faible minéralisée avec de gout un peu saumâtre (couleur bleu)
- 5 forages favorables avec de qualité d'eau moyennement minéralisé avec eau dure saumâtre (couleur gris)
- 4 forages favorables avec de qualité d'eau fortement minéralisé (couleur rouge)
- 4 sites non favorables

ANNEXE II

Les figures suivantes montrent les résultats des sondages TDEM sur chaque site

ANJEKY

(Site n°01: Lat= - 25, 05915°; Long= 46, 24004°; Alt=289 m)

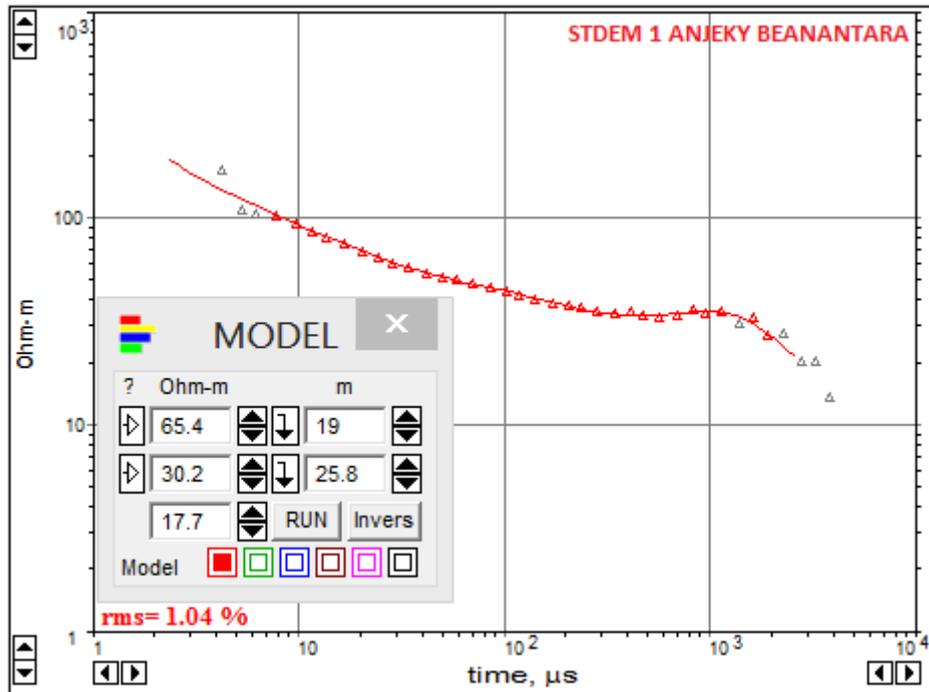


Figure 62: courbe TEDM à Anjeki

Le sondage TDEM a identifié la succession de 3 terrains dont :

Une formation faiblement résistante de résistivité 65Ωm correspondrait à notre cible hydrogéologique. Elle a une épaisseur de 19m. Elle repose sur la formation conductrice de résistivité 30Ωm assimilée au sable argileux.

Et enfin un substratum de résistivité 18Ωm caractérisé comme de l'argile. Globalement, l'allure des deux courbes est presque semblable. Le sondage TDEM n'arrive pas à détecter totalement les formations superficielles résistantes.

BEANANTARA SUD

(Site n°02: Lat= - 25,06067°; Long= 46,23920°; Alt = 297 m)

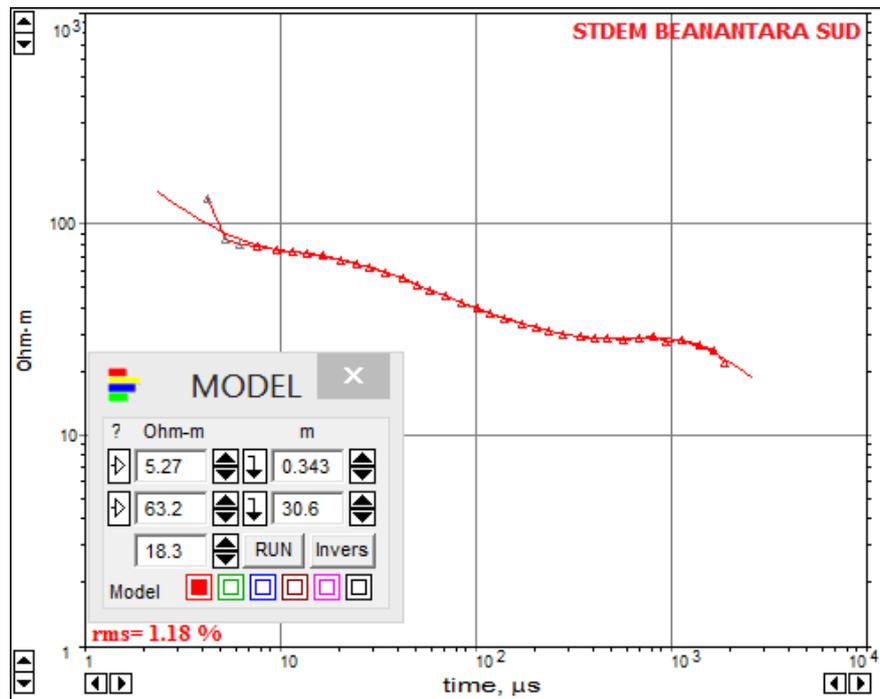


Figure 63: Courbe TEDM obtenu à Beanantara Sud

La courbe de STDEM montre 5 terrains successifs :

- une mince formation superficielle conductrice, de résistivité 5Ωm
- une formation moyennement résistante, de 31m d'épaisseur, qui correspondrait notre cible hydrogéologique
- une formation conductrice de résistivité 18Ωm pourrait être probablement une formation argileuse imperméable.

ANKILIKIRA

(Site n°03: Lat= - 25, 06879° ; Long= 46,24990° ; Alt = 144 m)

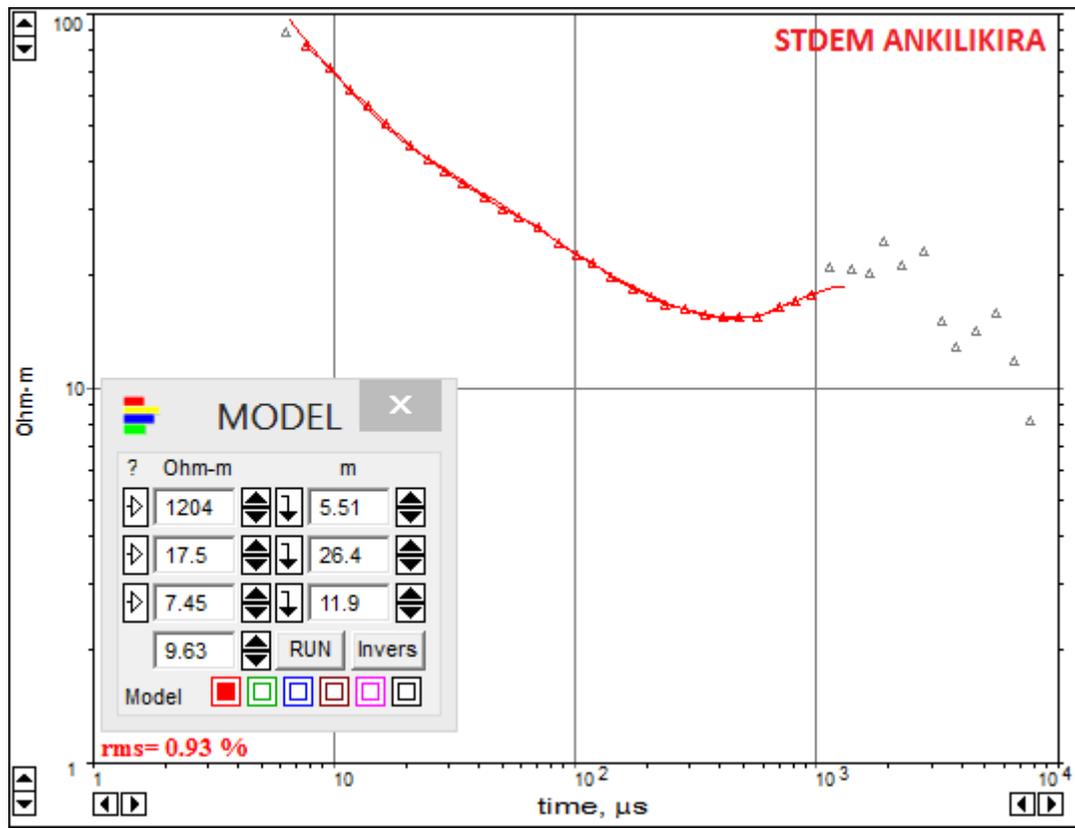
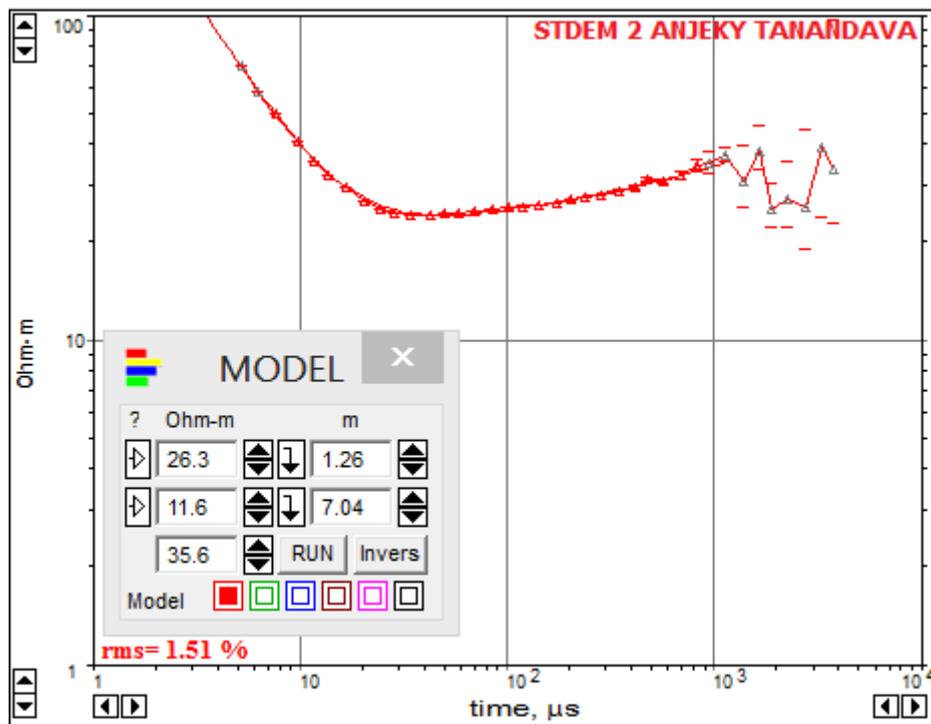
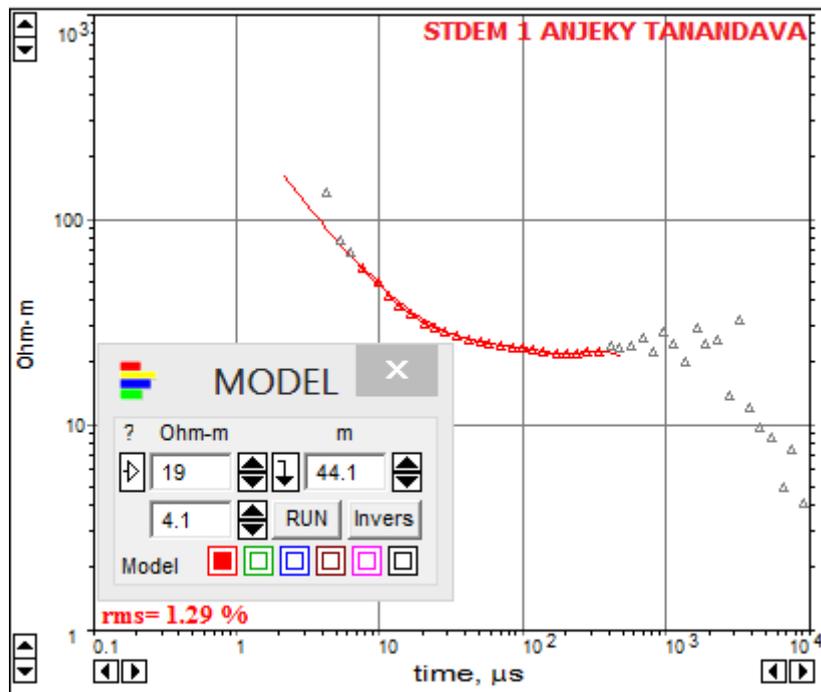


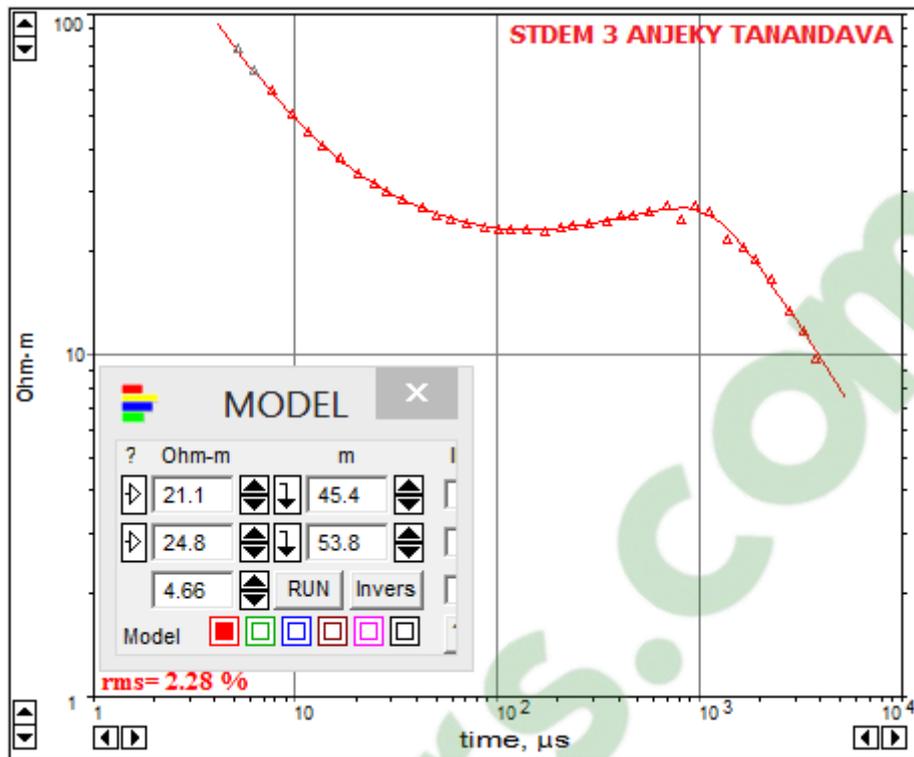
Figure 64: Courbe TEDM obtenu à Ankilikira

Le résultat d'interprétation de STDEM montre de haut en bas la dominance de la formation conductrice jusqu'à 28m de profondeur. La formation résistante de résistivité 1204 Ω m, de 5m d'épaisseur correspond au sable roux en tenant compte la géologie de surface repose sur la formation conductrice argileuse.

ANJEKY TANANDA VA

(Site n°04 : Lat=-25,09280° ; Long=46,24776° ; Alt= 277 m)





Les courbes de STDEM mettent en évidence la dominance des formations conductrices. La barrière argileuse de résistivité inférieure à $25\Omega\text{m}$ est bien déterminée par le sondage électrique et électromagnétique. Son épaisseur arrive jusqu'à 60m.

Annexe III :
Planche photo montrant les équipes sur le terrain.



TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
LISTE DES FIGURES	ii
LISTE DES CARTES	ii
LISTE DES TABLEAUX	iv
LISTE DES ACRONYMES	v
LISTE DES ANNEXES	vi
INTRODUCTION	1

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

CHAPITRE I- GENERALITES SUR LE CYCLE DE L'EAU	2
1- Généralités sur l'eau	2
2- Propriétés physiques de l'eau	2
3- Origine des eaux souterraines	3
4- Composants du cycle de l'eau	3
5- Mécanisme de mouvement de l'eau	4
CHAPITRE II- GENERALITES SUR LES AQUIFERES	5
1- Définition de l'aquifère	5
2- Différents types d'aquifère	5
2-1- Aquifères fluviatiles	5
2-2- Aquifère karstique	6
2-3- Les milieux fissurés	7
3- Nappes	7
3-1- Nappe libre	8
3-2- Nappe captive	8
3-3- Nappe semi captive.....	9
4- Recharge des nappes.....	10
CHAPITRE III- PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE	11
1- Localisation géographique	11
2- Le climat	13
2-1- Précipitations	13
2-2- Température	14

3- Réseau hydrographique.....	15
3-1- Fleuves et rivières.....	15
3-2- Lacs.....	16
4- Végétation.....	17
4-1 Savane.....	18
4-2 Pâturage.....	18
4-3 Forêts.....	18
4-4- Sols.....	18
5- Population.....	20
5-1- Taux d'accroissement démographique.....	20
5-2- Socio-économique.....	20
6- Aperçu géologique.....	21
6-1- Le socle cristallin.....	21
6-2-Le massif volcanique de l'Androy.....	21
6-3-Les formations sédimentaires.....	21
6-4- La tectonique du Sud de Madagascar.....	22
6-5- La formation géologique de Beanantara.....	22
7- Géomorphologie du Sud de Madagascar.....	23
8- Aperçu hydrogéologique.....	24

DEUXIEME PARTIE : METHODOLOGIES ET MATERIELS

CHAPITRE IV : OBSERVATIONS GEOLOGIQUES ET MATERIELS UTILISES.....	26
1-Analyse morpho-structurale.....	26
1-2- Détermination d'une fracture.....	27
1-3- Géologie de chaque site.....	29
2- Choix de la zone à prospector.....	31
2-1- Site Anjegy (Site n°01).....	31
2-2- Site Beanantara Sud (Site n°02).....	32
2-3- Site ANKILIKIRA (Site n°03).....	32
2-4- Site TANANDAVA.....	33
3- Matériels de terrain.....	34
CHAPITRE V : METHODES ET MATERIELS GEOPHYSIQUES.....	36
1- Choix de la méthode de prospection géophysique.....	36
1-1- Principe de la prospection électrique.....	36

1-2- Le panneau électrique	38
1-3 -Le dispositif de Wenner.....	40
1-4- Le dispositif de Schlumberger	41
1-5- Sondages électromagnétiques TDEM	43
2- Matériels et acquisitions des données	48
2-1- Matériels utilisés.....	48
2-2- Acquisitions des données.....	49
3 – Traitements des données	50
3-1 Coupe géoélectrique ou pseudo-section.....	52
4- Travaux géophysiques effectués	54

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

CHAPITRE VI : RESULTATS ET INTERPRETATION DANS CHAQUE FOKONTANY	55
1- Résultats des travaux géophysique dans chaque fokontany	55
1-1- Site Anjky : (Site n°01 : Lat= - 25,05915°; Long= 46,24004°; Alt = 289 m)	55
1-2- Site Beanantara Sud : (Site n°02: Lat= - 25,06067°; Long= 46,23920°; Alt = 297 m)	58
1-3- Site ANKILIKIRA: (Site n°03: Lat= - 25,06879° ; Long= 46,24990°; Alt = 144 m)	62
1-4- Site TANANDAVA	65
CHAPITRE VII : SYNTHESE DES RESULTATS	67
1- Récapitulation des points de forage proposés	67
1-1- Points situés à Anjky.....	67
1-2- Points situés à Beanatara Sud	68
1-3- Points situés à Ankilikira	68
1-4- Points situés à Tanandava.....	69
2- Devis estimatifs.....	69
2-1- coût estimatifs des forages.....	69
2-2- Récapitulation des coûts de forage estimatif	72
CONCLUSION	74
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	75
WEBOGRAPHIE.....	77

ANNEXES

Titre : « Detection et caractérisation par observations géologiques et méthodes géophysiques des nappes aquifères dans la commune de Beanantara, district d'Ambovombe, région Androy »

Nombre de page : 78

Nombre de tableau : 4

Nombre de figure : 61

RESUME

Pour résoudre les problèmes d'alimentation en eau potable des quatre fokontany de la commune Beanantara, des travaux géologiques et géophysiques ont été effectués pour localiser des nappes aquifères susceptibles de contenir de l'eau afin d'alimenter les besoins en eaux de la population. L'objectif est d'identifier au moins un point d'eau, le plus proche des hameaux si possible dans chaque fokontany et d'exploiter par un type d'ouvrage approprié soit par forage ou puits et ceci pour satisfaire les besoins en eau potable des habitants que ce soit en quantité ou en qualité.

La prospection électrique permet de voir la structure du sous-sol, le résultat du panneau électrique permet l'évaluation de la profondeur de l'aquifère ainsi que son extension latérale, le sondage électromagnétique permet de voir la structure du système aquifère.

Des estimations des coûts de forage ont été faites sur chaque point d'eau proposé dans les trois fokontany jugé positif d'après les études géologiques et géophysiques.

Mots clé : Beanantara, nappe aquifère, hydrogéologie, résistivité, eaux souterraines.

ABSTRACT

In order to solve the drinking water supply problems of the four fokontany in Beanantara commune, geological and geophysical works were carried out to locate aquifers likely to contain water in order to supply the water needs of the population. The objective is to identify at least one water point, closest to the hamlets if possible in each fokontany and to exploit by a suitable type of work either by drilling or well and this to satisfy the water needs of whether in quantity or quality.

Electrical prospecting allows seeing the structure of the subsoil, the result of the electrical panel allows the evaluation of the depth of the aquifer and its lateral extension, the electromagnetic sounding allows seeing the structure of the aquifer system. Estimates of the costs of drilling were made on each proposed water point in the three fokontany considered positive according to the geological and geophysical studies.

Keywords: Beanantara, aquifer, hydrogeology, resistivity, groundwater.

Directeur de mémoire : **Monsieur RANDRIAMIHARIVELO Philibert Daniel**

Impétrant : **RAZANAKOTO Onjaniana Etienne**

Lot IVO 151 A Ankorondrano Ouest TANA 101

Tel : 0337016159

Email : onjarazanakoto3@gmail.com

