

Sommaire

Liste des abréviations IV

CNRE : Centre National de Recherche sur l'Environnement V

ESPA : Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo V

RU : Réserve Utilisable V

Liste des figures V

Liste des tableaux VII

Introduction 1

Partie I : Contexte général de la zone d'étude 3

I-1 : Contexte général de la zone d'étude 4

1-1- Localisation géographique 4

1-2- Contexte géologique 5

1-2-1- Le socle cristallin 5

1-2-2- Le massif volcanique de l'Androy 6

1-2-3- Les formations sédimentaires 6

I-3- Contexte géomorphologique 7

1-4- Contexte climatique de la zone d'étude 9

1-4-1- Précipitations 9

1-4-2- Température 10

1-4-3- Bilan hydrique 11

1-5- Aperçu hydrogéologique 12

13

1-6- Réseau hydrographique 13

I-2- Aperçu socio-économique de la région d'étude 14

Partie II : METHODOLOGIE 17

II-1 : les Systèmes aquifères 18

1-1- Généralité 18

1-2- Facteurs d'existantes d'une nappe 18

1-3- Types de nappes 18

1-3-1- Nappe libre 18

1- 3- 2- Nappe captive 19

1- 3-3- Aquifère à nappe semi-captive 20

II-2 : La télédétection 20

2-1- Processus de télédétection 21

2-2- Télédétection appliquée en hydrogéologie 22

II-3 : Prospection géophysique 22

3-1- Résistivité électrique 23

3-2- Facteurs influençant la résistivité électrique 23

3-3- Méthodes électriques 24

3-3-1- Généralité 24

3-3-2- Mise en œuvre 25

Partie Iii : Synthèse d'image 3D et logiciel RockWorks2006 30

III- 1 : Historique 31

III-2 : Généralités 31

III-3 : Techniques 31

3-1- Modélisation 32

3-1-1- Type de modélisation 32

3-1-2- Logiciel de modélisation 32

III-4 : Logiciel RockWorks2006 33

4-1- Introduction 33

4-2- Borehole Manager 33

4-3- Création d'un nouveau projet 34

4-4- Dimensions du projet 34

4-5- Fenêtre d'exposition des résultats 35

4-6- Présentation des données dans RockWorks2006 36

4-6-1- Données de localisation 36

4-6-2- Données de P-data (données de sondage) 36

4-6-3- Données de stratigraphie 36

4-6- Model solide ou P-data 37

4-7- Modèle stratigraphique 37

Partie IV : Présentation des données et interprétation 39

IV-1 : Travaux antérieurs 40

IV-2: BD 500 de la FTM 41

IV-3 : Image satellitaire 41

IV-4 : Données géophysiques 41

IV-5 : Analyse par image satellitaire 42

[IV-6: Modélisation Hydrogéophysique par Rockworks2006 46](#)

[6-1- Préparation des données 46](#)

[6-2- Modèles solides \(ou modèle de P-data\) 48](#)

[6-3- Coupe du modèle stratigraphique sans lissage 52](#)

[6-4- Coupe du modèle stratigraphique avec lissage 53](#)

[Conclusion 55](#)

[56](#)

[RESUME 69](#)

[Nombre de pages 69](#)

[56 69](#)

[Figures 69](#)

[31 69](#)

[Tableaux 69](#)

[5 69](#)

[Encadreur 69](#)

[Impétrant 69](#)

[Dr RAZAFINDRAKOTO boni Gauthier 69](#)

[Tél : 0331436424 69](#)



Liste des abréviations

- 1D : Une dimension
- 2D : Deux dimensions
- 3D : Trois dimensions

BD : Base de données
 BRep : Boundary Representation, (représentation par frontière)
 CGS : Constructive Solid Geometry
 CNRE : Centre National de Recherche sur l'Environnement
 CP : Classeur du Projet
 ESPA : Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
 ETP : Evapotranspiration potentielle
 ETR : Evapotranspiration réelle
 EXC : Excédent
 FTM : Foiben-Taotsaritanin'i Madagasikara
 IRA : Infections Respiratoires Aiguës
 MAP : Madagascar Action Plan
 MIT : Massachusetts Institute of Technology
 OMD : Objectifs du Millénaire pour le développement
 SGDM : Société Géosciences pour le Développement de Madagascar
 SSD : Service de Santé du District
 SSP : Sous Préfecture
 UPDR : Unité de Politique pour le Développement Rural
 UTM : Universal Transverse Mercator
 RU : Réserve Utilisable
 RFU : Réserve Facilement utilisable

Liste des figures

Figure IV- : Géologie et localisation des points de sondage électrique..... 42

Figure IV- : Composition colorée 321 avec réseau hydrographique.....	44
Figure IV- : Composition colorée 531 avec linéaments.....	45
Figure IV- : Modèle solide vue de côté Sud Est.....	49
Figure IV- : Modèle solide vue de côté Sud Ouest.....	49
Figure IV- : Carte d'iso valeurs pour l'altitude $Z = -40\text{m}$.....	51
Figure IV- : Modèle stratigraphique sans lissage.....	52
Figure IV- : Modèle stratigraphique avec lissage.....	53

Liste des tableaux

Rapport-Gratuit.com

Introduction

Le secteur de l'eau et de l'assainissement tient une place importante dans l'agenda du Système des Nations Unies et celui du Gouvernement Malgache, et c'est particulièrement, depuis l'adoption des Objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) en septembre 2000. Comme beaucoup de pays, Madagascar est convaincu que l'eau est un élément important du développement économique et social. Près de deux tiers de la population Malgache n'ont pas accès à l'eau potable et seulement un Malgache sur vingt a l'accès à un de base adéquat. Conscient de ces problèmes, le gouvernement malgache a priorisé le secteur eau dans son document «Madagascar Action Plan». Il s'agit d'améliorer de manière significative l'accès à l'eau potable et à l'hygiène, approvisionner la population en eau potable et généraliser les pratiques hygiéniques et sanitaires.

Le Sud de Madagascar en occurrence la région de l'Androy souffre de sécheresse à répétition et d'insécurité alimentaire. Plusieurs recherches ont été déjà effectuées dans cette zone pour essayer de résoudre ce problème, d'autres comme implantation des points de forage pourront y succéder. L'intitulé : « Etude sur l'approvisionnement en eau potable, autonome et durable dans la région du Sud de la République de Madagascar » est un projet réalisé en 2005 est mené conjointement par la Japan Techno LTD, la Société Géosciences pour le Développement de Madagascar (SGDM) et l'ONG Taratra.

De ce faite, ce mémoire se rapporte sur l'étude hydrogéologique, en réexaminant les travaux géophysiques et hydrogéologiques du projet cité ci-dessus. L'idée de base de ce mémoire repose sur la modélisation en 3D à partir des données géophysiques afin de voir une autre situation hydrogéologique globale de la région de l'Androy. Rockwrks2006 servira de logiciel pour la présentation des résultats dans le but de localiser la zone de circulation ou d'accumulation d'eaux souterraines. C'est un logiciel mieux adapté au traitement des données géologiques et géophysiques.

La présente mémoire intitulée « **Modélisation hydrogéophysique en 3D du sous sol de la région de l'Androy** » est articulée sur quatre grandes parties :

- la première partie développe un aperçu global du contexte général de la zone d'étude ;
- la deuxième partie rappelle la méthodologie appliquée à une étude hydrogéologique classique, notamment la télédétection et la géophysique ;

Introduction

- la troisième partie présente les points forts du logiciel RockWorks2006 et développe son utilisation dans cette étude ;
- et avant de conclure, la quatrième partie présente les résultats obtenus lors de la modélisation en 3D et fait sortir un essai d'interprétation.

PARTIE I : CONTEXTE GÉNÉRAL DE LA ZONE D'ÉTUDE

Nous présentons dans cette partie, le contexte général de la zone d'étude qui se rapporte aux domaines suivants : géographie, géologie, géomorphologie, climat, hydrogéologie et contexte socio-économique.

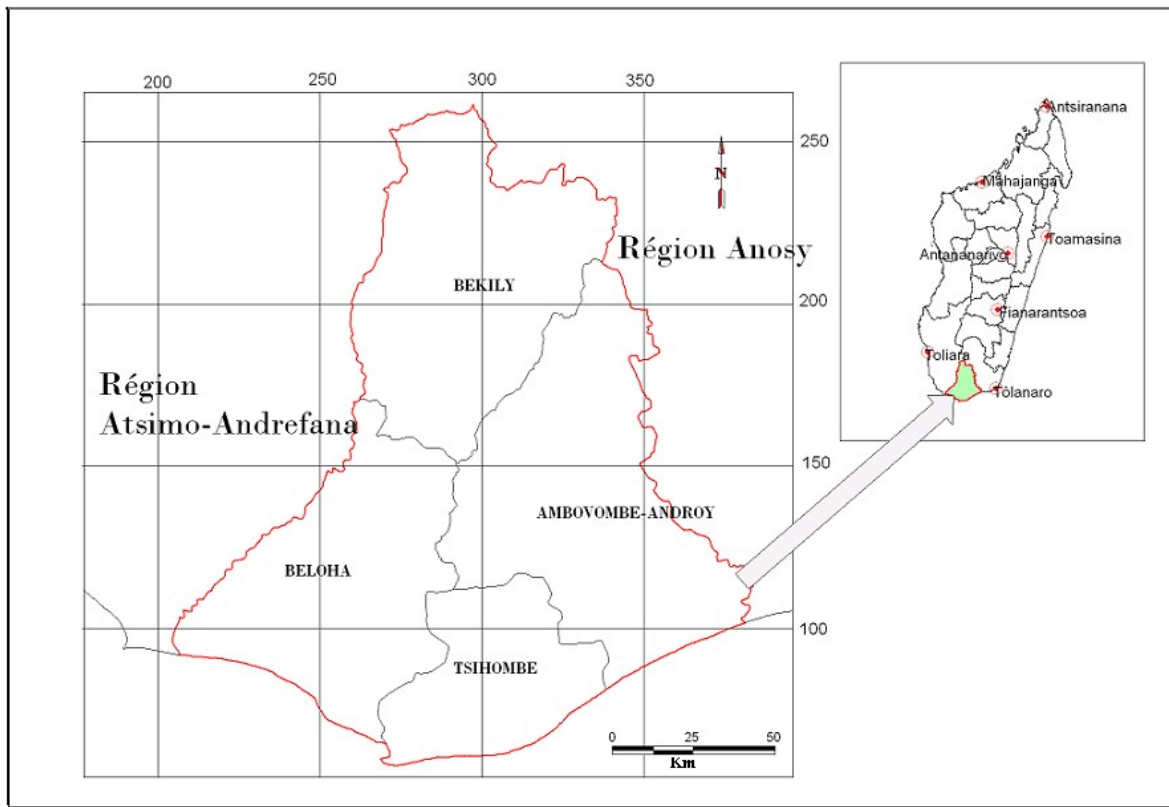
I-1 : Contexte général de la zone d'étude

1-1- Localisation géographique

La région de l'Androy se situe dans l'extrême Sud de Madagascar (cf. figure I-1). Elle est comprise entre la région d'Atsimo-Andrefana à l'Ouest et celle de l'Anosy à l'Est. Elle occupe une superficie d'environ 1 870 000ha et limitée par les coordonnées géographiques (dans le système Laborde) : $X_{min}=204,4km$; $Max=383,8km$ et $Y_{min}=261,5km$; $Y_{max}=577,1km$.

Ambovombe capitale de la région se trouve à 110km au Nord-Ouest de Taolagnaro. L'Androy est composé de quatre fivondronanana qui sont Ambovombe, Tsihombe, Beloha et de Bekily.

La zone d'étude est centrée à Ambovombe qui est limitée par l'océan au Sud, Antanimora au Nord, le fleuve de Menarandra à l'Est et de Tsihombe à l'Ouest.



Source:BD500FTM

Figure I- : Carte de localisation de la zone d'étude

1-2- Contexte géologique

Trois unités géologiques sont à distinguer dans la région de l'Androy : le socle cristallin, les formations sédimentaires et le massif volcanique de l'Androy.

1-2-1- 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 ($400\,000\text{ km}^2$) 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.

1-2-2- 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 rhyolite. Ce massif est bordé au Nord, à l'Ouest et au Sud par des satellites microgranitiques ou microsyénitiques [H.Besairie.1944]. 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.

1-2-3- Les formations sédimentaires

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

Deux bassins sédimentaires se distinguent dans la région de l'androy. Le bassin d'Ambovombé et celui de Beloha :

- 1- le bassin d'Ambovombé, il est Situé à l'Est et correspondant 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 Tsihombé. 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.
- 2- le bassin de Beloha, il siège à l'Ouest et se trouve constitué également par les mêmes formations en majeurs partie.

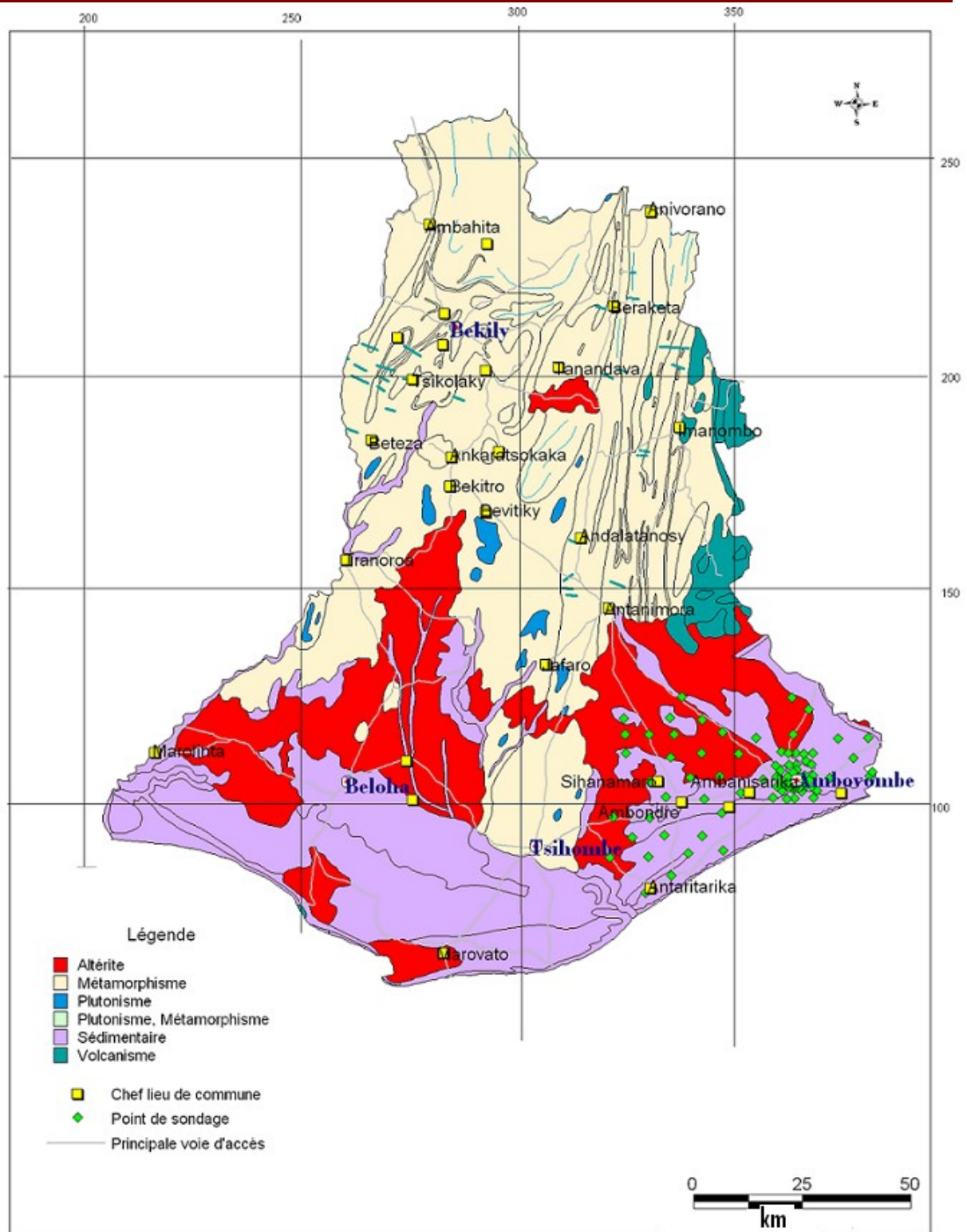


Figure I- : Carte géologique de la région Androy (extrait de BD500, FTM)

I-3- Contexte géomorphologique

Le relief général de la région Sud de Madagascar est à dominante de pénéplaines. La partie centrale qui fait partie du socle cristallin, a une altitude moyenne de 600m.

Partie 1 : Présentation générale de la zone d'étude

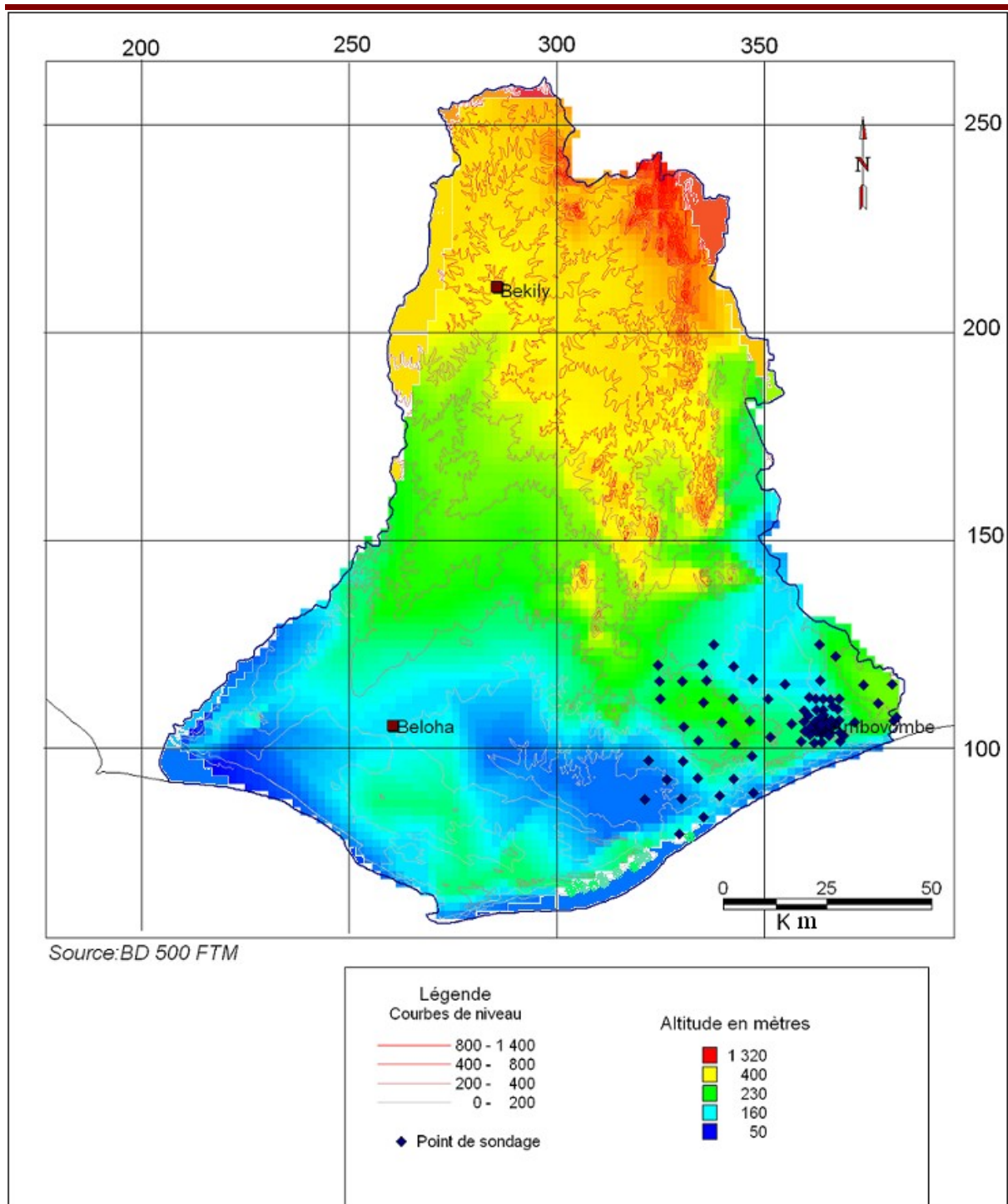


Figure I- : Carte topographique de la région de l'Androy

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.

1-4- Contexte climatique de la zone d'étude

La connaissance de l'évolution pluviométrique est importante pour comprendre et d'essayer de mieux interpréter les comportements des piézomètres implantés dans le secteur d'étude. Cependant l'évolution du niveau de la nappe dépend des précipitations mais également d'un certain nombre de paramètres qui régissent d'une part le ruissellement et d'autre part l'évapotranspiration. 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.

1-4-1- Précipitations

La connaissance de l'évolution pluviométrique permet de bien comprendre l'hydrodynamisme de la nappe de la zone d'étude. L'étude s'est limitée à la station d'Ambovombe et celle de Beloha (à l'ouest de la zone d'étude). La première a pour coordonnées géographiques dans le système Laborde, X=365579,690 et Y= 104448,390 à une altitude de 135m et la deuxième, X= 259762,174 et Y=103977,84 à une altitude de 80m. Ces deux stations nous fournissent à la fois les données pluviométriques et thermométriques sur une longue période et sans interruption. Les données climatologiques proviennent de la direction générale de la météorologie [16]. Elles sont les moyennes normales mensuelles des précipitations sur une période allant de 1961 à 1996.

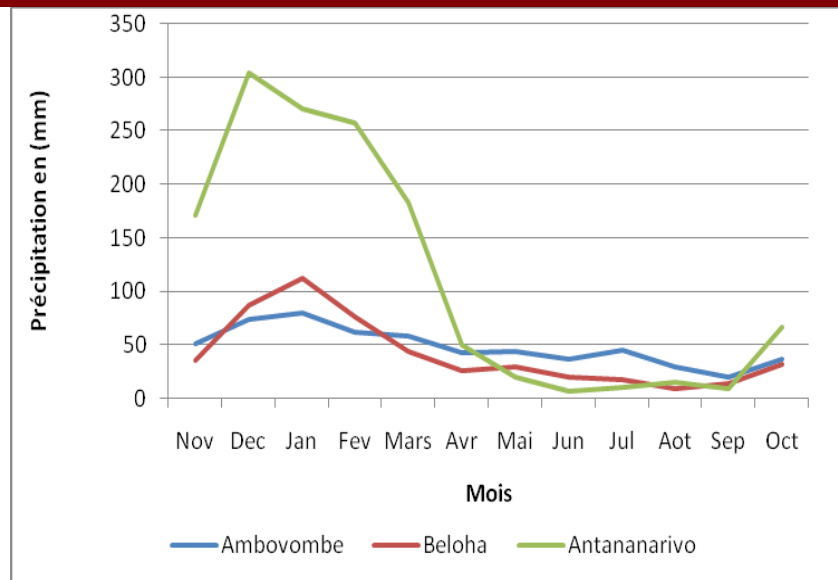


Figure I- : Variations mensuelle de la précipitation

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 (cf. figure I-4), on pourra conclure que la région d'étude connaît une précipitation très faible ; car à Antananarivo, les précipitations mensuelles sont de l'ordre 1000mm.

1-4-2- Température

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

La figure I-5 ci-après 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

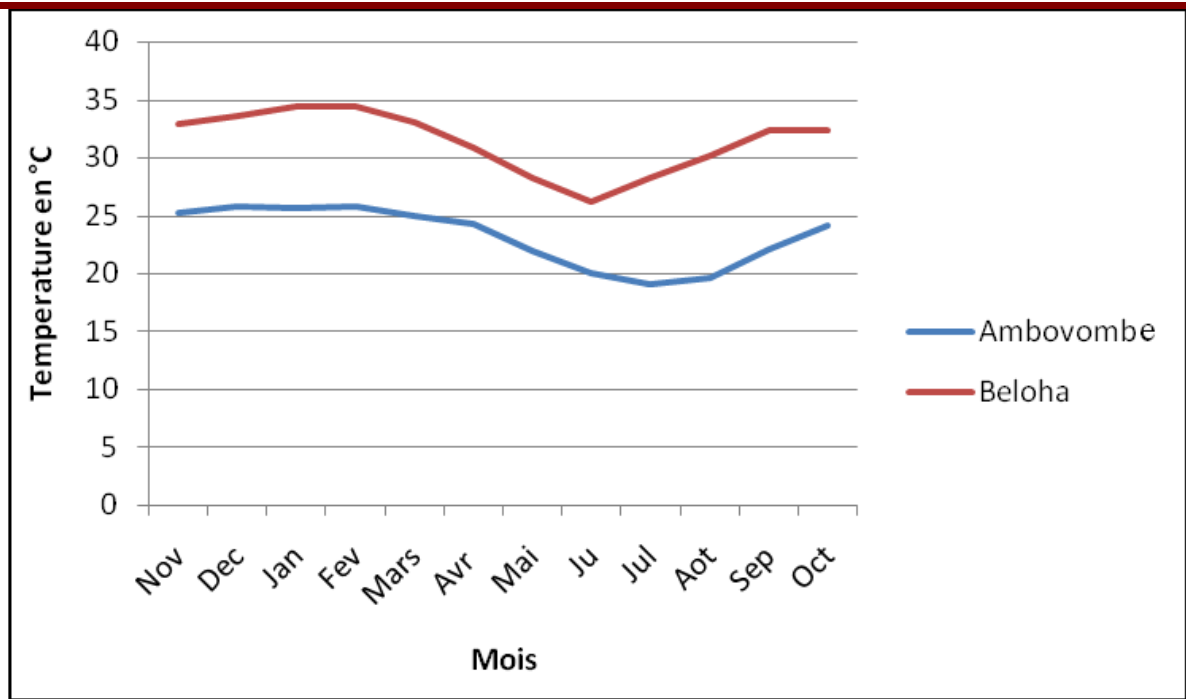
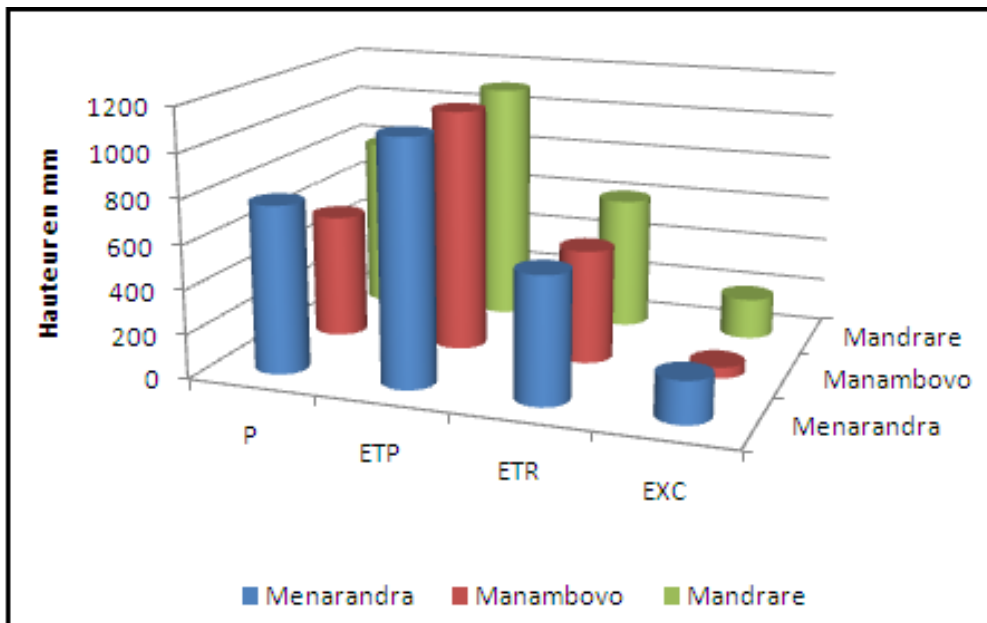


Figure I- : Variation mensuelle des températures maximales

1-4-3- Bilan hydrique



Source (Chaperon et al. 1993, modifié)

Figure I- : Comparaison entre précipitation, évapotranspiration et excédant

Avec :

P : lame moyenne précipitée sur le bassin en mm

ETP : évapotranspiration potentielle en mm

ETR : évapotranspiration réelle en mm. L'évapotranspiration réelle correspond à la quantité d'eau effectivement évapotranspirée au dessus de la surface étudiée. L'ETR dépend de la lame d'eau stockée dans le sol et la pluviosité.

EXC : excédant

La figure I-6 permet d'observer l'évolution des différents termes composant le bilan hydrique.

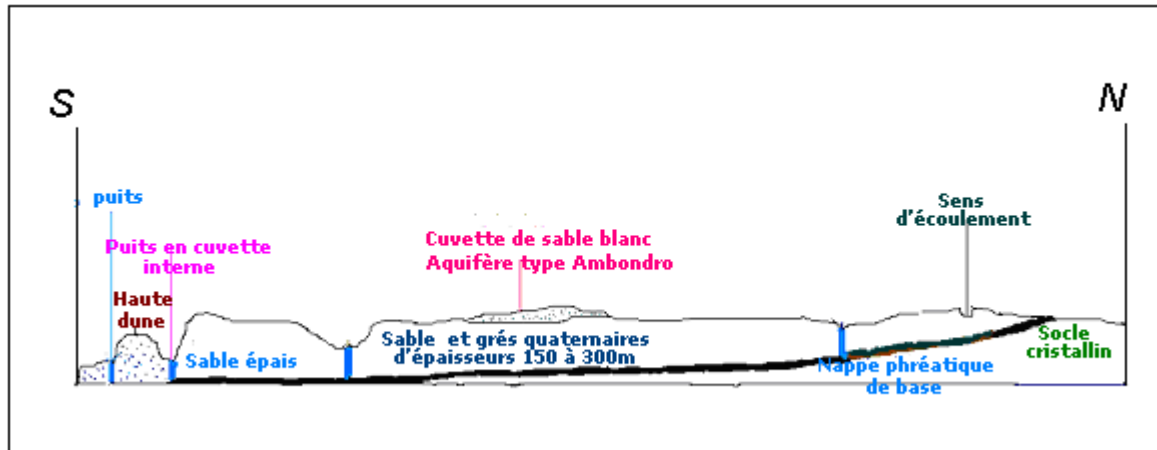
On peut dire que :

Si la période 1993, la lame totale précipitée à la station Mandrare est de 790mm et l'ETR totale est de 605mm, ce qui correspond à 76% d'évapotranspiration ; l'excédant totale calculé est de 185mm, soit 23% des précipitations, reste disponible pour l'infiltration et le ruissellement.

1-5- Aperçu hydrogéologique

L'Androy dans son ensemble a été bien décrit par R. Decary (1930, 1939) et par R. Battistini après 1964. Les recherches hydrogéologiques amorcées en 1939, interrompues par la guerre, furent reprises en 1943 [4]. 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 assez inconnue [3].

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 à l'alimentation pastorale. Le mur de la nappe est constitué par des argiles qui se placent vers 115-119m sous la ville d'Ambovombé et dans la partie Nord mais qui descend à 103m au Sud. Les puits touchent la nappe entre vingt et quelques mètres de profondeurs. La nappe est peu épaisse et son épaisseur est en fonction de l'irrégularité de ce mur argileux [17]. Son niveau est affecté par les variations saisonnières dont l'amplitude moyenne est d'environ deux mètres.



Source : rapport hydrogéologique du M E M, 1976 [19]

Figure I- :Schéma hydrogéologique de la région d'Androy

1-6- Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de l'Androy se divise en trois parties distinctes :

- La Menarandra (180km) constitue la limite Ouest de l'Androy. Il prend sa source dans la zone cristalline au Sud d'Isoanala.. Ses nombreux petits affluents ne coulent que pendant la saison des pluies.
- La Manambovo, une petite rivière qui passe à Tsihombe est à sec 9 mois sur 12. Elle a une longueur de 100km et se passe sur complexe de sols ferrugineux tropicaux et peu évolués.
- Le Mandrare (250 km), même s'il ne se trouve pas dans la région de l'Androy mais reste un des rares fleuves du Sud à être permanent. Il prend sa source dans la montagne de Beampingaratra (1.967m). Ses nombreux affluents naissent tous dans la zone cristalline haute du Massif de l'Ivakoana et des versants ouest des chaînes Anosyennes. Ses principaux affluents sont : l'Andratina, le Tsivory, le Manambolo, la Mananara. C'est la seule rivière utile sur le plan agricole, car elle est émaillée de nombreux petits barrages

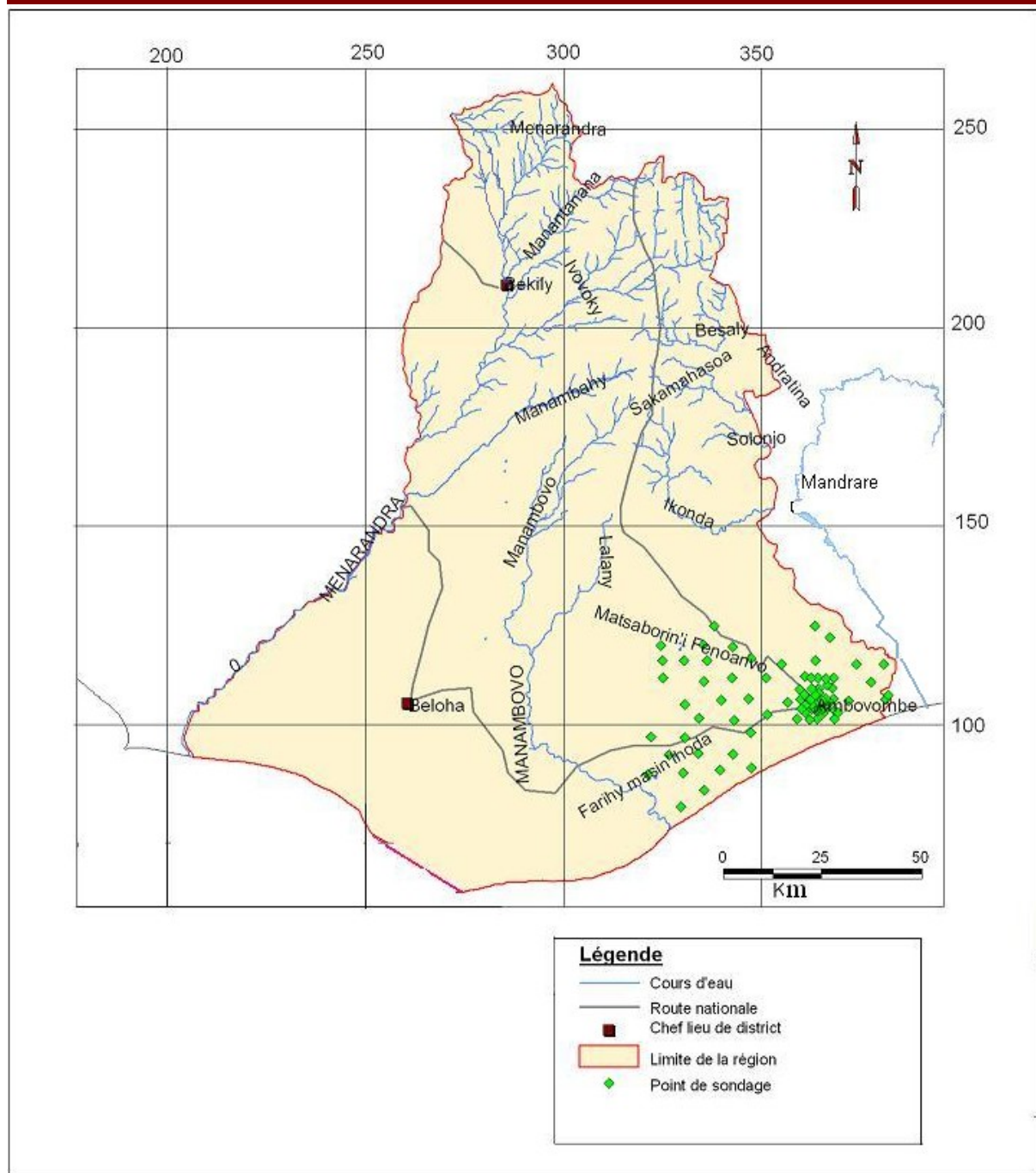


Figure I- : Carte hydrographique de la région de l'Androyy

I-2- Aperçu socio-économique de la région d'étude

Le climat aride de la région et le caractère peu fertile du sol conditionnent le développement de son agriculture. Trois types de culture sont rencontrés dans l'ensemble de la Région [13]:

- Cultures vivrières composées principalement par le riz, manioc et maïs ;
- Cultures industrielles représentées par la canne à sucre et l'arachide ;

Partie 1 : Présentation générale de la zone d'étude

- Cultures de rente formées essentiellement par le café et le sisal.

Dans l'Androy sédimentaire (Sud Ambovombe, Tsihombe, Beloha) qui bénéficie d'un climat influencé par l'humidité marine, les terres cultivables sont exploitées au maximum par contre, dans l'Androy cristalline, peu de terre fertile subsiste.

Tableau I- : Superficie agricole de la région

Sous Préfecture (SSP)	Superficie totale (Ha)	Surfaces cultivables (Ha)	Pourcentage par SSP	Surfaces cultivées en 2001(Ha)	Pourcentage par surfaces cultivables
Ambovombe	651400	13693	2,1%	13405	98%
Tsiombe	251300	19125	7,6%	19125	100%
Beloha	501600	4030	0,8%	4030	100%
Bekily	527400	28355	5,4%	28355	100%
Ensemble de la région	1931700	65203	3,4%	65203	100%

Source : monographie de la région du Sud 2001 et annuaire statique agricole 2003 [13]

Ce tableau montre que les terres cultivables sont très limitées et leurs exploitations semblent atteindre le seuil de saturation. Les surfaces cultivables ne représentent que 3% de la surface totale de la région.

Le ravitaillement en eau est organisé en fonction des disponibilités et des moyens existant. Deux cas de figures peuvent s'observer :

Dans l'extrême Sud (Sous préfectures de Tsihombe, Beloha et Ambovombe) les services publics prennent en charge une grande partie du ravitaillement en eau potable ;

Dans les endroits où le problème est moins crucial (Bekily), l'organisation systématique n'est pas nécessaire. Les villages puisent l'eau dans les rivières ou dans les puits.

Actuellement, dans l'Androy, la consommation quotidienne d'eau ne dépasse pas le demi-litre par personne [13]. Comment peut-on vivre avec une telle quantité, quand on sait que suivant les normes internationales, les besoins en eau d'un être humain doivent être supérieurs à 30 litres par jour ?

Au niveau de la santé, les dix pathologies principales recensées au cours de l'année 1999 par le Service de Santé du District (SSD), sont très similaires [UPDR, 2003]. La fièvre (suspicion de paludisme), les infections respiratoires aiguës (IRA) et les maladies diarrhéiques

Partie 1 : Présentation générale de la zone d'étude

sévissent la région. Le manque d'hygiène par pénurie d'eau, les mœurs et l'ignorance sont à l'origine de ces nombreux cas de maladies.

PARTIE II : METHODOLOGIE

Cette partie rappelle l'aspect théorique de ce mémoire, à savoir les systèmes aquifères, la télédétection et la prospection géophysique.

II-1 : les Systèmes aquifères

1-1- Généralité

L'aquifère est une roche ou une formation géologique perméable à l'eau, comportant une zone saturée d'eau pour permettre un captage et un écoulement significatif. De ce fait, en d'hydrogéologie, on définit alors une nappe comme l'ensemble des eaux comprises dans cette zone saturée d'un aquifère dont toutes les parties sont en liaisons hydrauliques.

1-2- Facteurs d'existantes d'une nappe

L'existence d'une nappe est conditionnée par la conjonction de trois facteurs :

- Facteurs lithologique, il doit exister une roche à la fois poreuse et perméable qui constituera le terrain aquifère ;
- Facteur d'alimentation, il faut que de l'eau vienne remplir les pores de la nappe ;
- Facteur de structure, il est nécessaire d'avoir une structure favorable à l'accumulation de l'eau (une structure anticlinale est défavorable).

Ces trois facteurs ont une influence variable selon les types de nappes rencontrées. Les aquifères sont alors limités par un toit à leur partie supérieure et par un substratum à leur partie inférieure. La nature de ces formations limites permet de déterminer le modèle de l'aquifère.

Les conditions hydrodynamiques donnent la possibilité de distinguer trois différentes nappes d'aquifères : nappe libre, nappe captive et nappe semi captive.

1-3- Types de nappes

1-3-1- Nappe libre

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

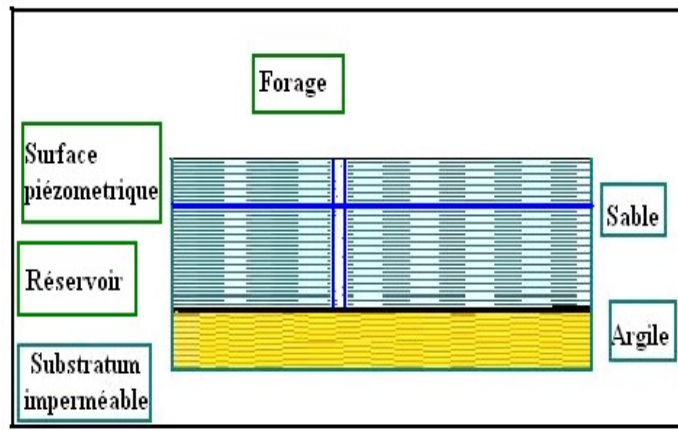


Figure II- : Représentation schématique d'une nappe libre

Ce type de nappe peut être :

- Une nappe de vallée, elle est la première directement atteinte par les puits: c'est la nappe phréatique. Cependant, lorsque le sol est uniformément poreux et perméable, l'eau de pluie s'infiltre jusqu'à une couche imperméable et sature la roche jusqu'à un certain niveau appelé surface libre de la nappe. On appelle nappe cette zone saturée
- Une nappe alluviale, L'aquifère est constitué par les alluvions d'une rivière. L'eau de la nappe est en équilibre avec celle de la rivière et les échanges se font dans les deux sens. Les alluvions sont très perméables; elles peuvent être très épaisses (une centaine de mètres). Ces nappes, soutenues par l'apport de la rivière (ou d'un lac), sont très vulnérables à la pollution. En pays aride, la nappe alluviale est alimentée par les crues de la rivière qui est à sec en période d'étiage.

1- 3- 2- Nappe captive

Une nappe est dite captive si elle est surmontée par une formation peu (ou pas) perméable, et si la charge hydraulique de l'eau qu'elle contient est supérieure à la cote du toit de la nappe.

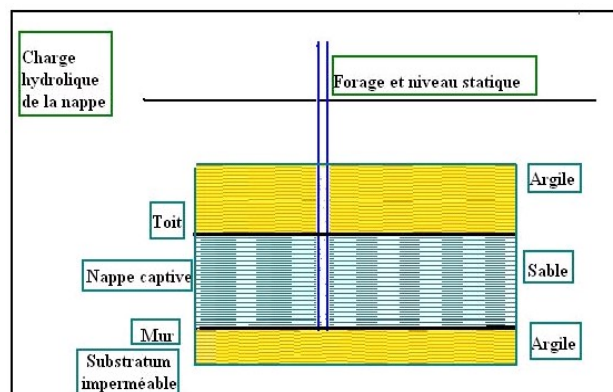


Figure II- : Représentation schématique d'une nappe captive

Quand on fore un puits ou un piézomètre dans une telle nappe, l'eau remonte brusquement dans l'ouvrage lorsque l'on creuse le toit imperméable de la nappe. L'eau contenue dans la nappe est en fait comprimée à une pression supérieure à la pression atmosphérique. On dit également que la nappe est confinée. Si cette pression est suffisante pour que l'eau remonte jusqu'à la surface du sol et jaillisse (soit la charge piézométrique supérieur à la cote du sol), la nappe captive est dite artésienne et le forage artésien ou jaillissant. Ce phénomène peut cependant disparaître avec le temps si on exploite la nappe, par réduction de la charge dans l'aquifère.

1- 3-3- Aquifère à nappe semi-captive

Cet aquifère repose sur un substratum imperméable. Il est surmonté d'une couche semi-perméable qui permet l'intercommunication avec la nappe de la couche hydrogéologique perméable sus-jacente. Dans certaines conditions, la surface piézométrique permet des échanges d'eau avec un aquifère superposé ou sus-jacent.

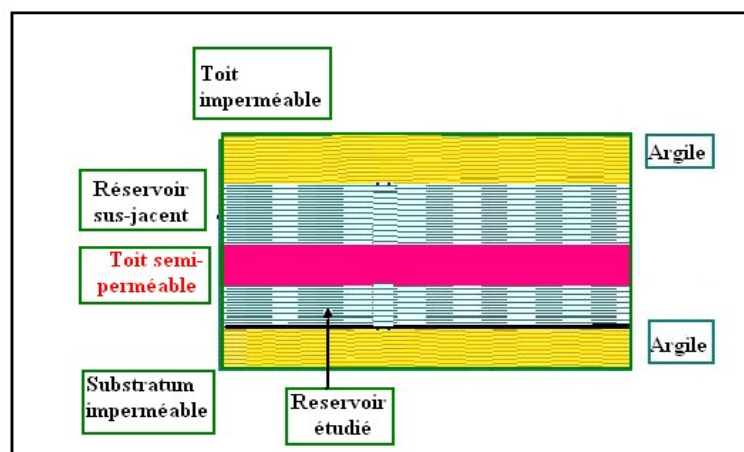


Figure II- : Représentation schématique d'une à nappe semi captive

II-2 : La télédétection

Gérard Guyot définit la télédétection comme l'ensemble des techniques qui sont utilisées pour la détermination à distance des propriétés des surfaces naturelles (sols, cultures, roches, surfaces d'eau...), à partir des rayonnements qu'elles réfléchissent ou émettent dans différents domaines de longueurs d'ondes [11]. De ce fait, elle englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information.

2-1- Processus de télédétection

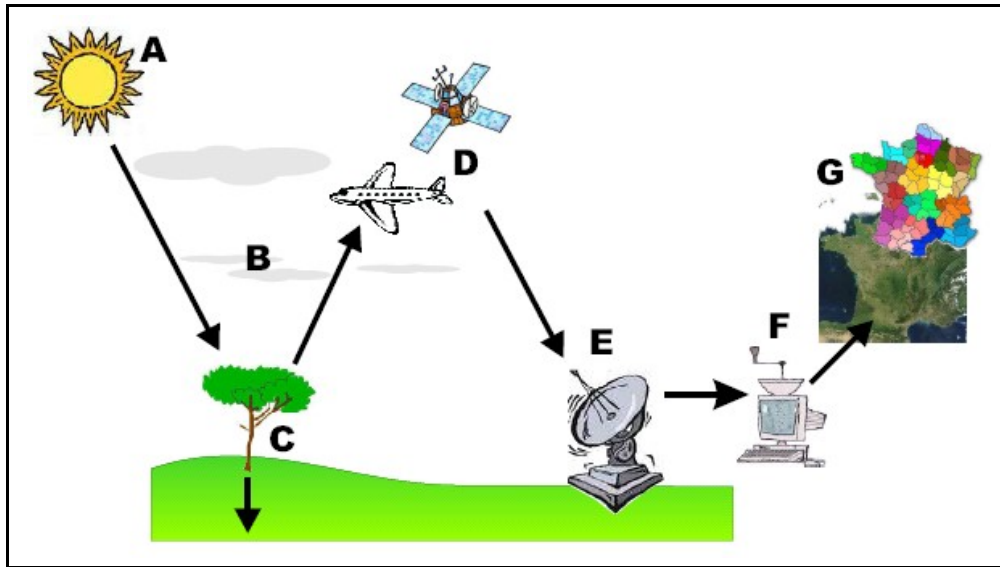


Figure II- :Processus de la télédétection

A : source d'énergie ; **B** : atmosphères ; **C** : cible ; **D** : capteur ; **E** : transmissions, réception et traitement ; **F** : interprétations et analyse ; **G** : Application

Durant le processus de télédétection le rayonnement passe par sept étapes principales

1. Source d'énergie ou d'illumination (A) : au début du processus de télédétection existe généralement une source d'énergie pour illuminer la cible. Cette étape n'intervient pas dans le cas de l'infrarouge thermique où la cible émet elle-même son propre rayonnement. Parfois, la source et le capteur se confondent ; C'est un capteur actif, tels que le Radar, qui envoie un signal sur la cible et en capte la partie réfléchi.
2. Atmosphère (B) : pendant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une deuxième interaction se passe lors du trajet inverse entre la cible et le capteur.
3. Cible (C) : aussitôt arrivé à la cible, l'énergie interagit avec celle-ci. Cette interaction va dépendre de la nature du rayonnement et des propriétés de la surface. Par exemple, la surface lisse de l'eau en absence de vague est un réflecteur spéculaire des ondes radar : presque aucune information n'est retransmise au capteur et l'eau apparaît donc très sombre sur les images radar.
4. Enregistrement de l'énergie par le capteur (D) : dès la diffusion ou l'émission de l'énergie par la cible, elle est captée à distance pour être enregistrée.

5. Transmission, réception et traitement (E) : l'énergie enregistrée par le capteur est transmise à une station de réception où l'information est transformée en images.
6. Interprétation et analyse (F) : une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.
7. Application (G) : la dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

2-2- Télédétection appliquée en hydrogéologie

La télédétection permet d'obtenir divers types d'informations sur la surface de la terre. On distingue dans un premier temps, sur les photos satellites, les zones sèches, les zones humides ou noyées ainsi que la nature et la disposition de la végétation. Cette dernière peut donner des informations précieuses sur la distribution des eaux souterraines de faible profondeur. Dans un second temps, on peut les compléter avec les interprétations des photos aériennes et des cartes topographiques. Leur combinaison permet d'observer des éléments suivants:

- nature et épaisseur des sols, végétation, eaux de surface, réseau hydrographique et émergences;
- affleurement et lithologie: affleurements rocheux, dykes, moraines, éboulis, terrasse, alluvions;
- linéaments structuraux: failles, zones de fissuration.

II-3 : Prospection géophysique

La géophysique appliquée ou la prospection géophysique est en fait l'art d'appliquer les mesures physiques à l'étude de la partie superficielle de la croûte terrestre. Toutes les méthodes géophysiques étudient la répartition en profondeur et/ou dans le plan horizontal et éventuellement dans le temps de quelques – unes des propriétés physiques. Elle revient donc à déterminer les variations de la dite propriété sur la zone à explorer. Les divergences ou anomalies de la valeur normale, qui serait attendue dans la zone de travail, à la valeur réelle rencontrée nous indiquent, en général, la présence en profondeur de structures ou accumulations minérales particulières, pouvant être significatives dans le cadre d'une problématique donnée [1].

Parmi les principales propriétés physiques du sol, nous pouvons mentionner : la résistivité électrique, qui quantifie le niveau de difficulté qu'un volume de sol oppose au passage de charges en mouvement, la conductivité électrique qui est l'inverse de la résistivité, le magnétisme du sol (traduit le plus souvent en termes de champs magnétiques au voisinage du sol), la propagation des ondes mécaniques dans le sol, la température, la densité et la radioactivité.

Dans la recherche d'eau souterraine, la prospection géophysique permet de confirmer et de localiser les linéaments révélés sur la photographie aérienne ou image satellitaire. Rappelons que la méthode électrique est le mieux adapté dans une étude hydrogéologique, et dans ce mémoire, nous nous limiterons aux sondages électriques.

3-1- Résistivité électrique

La résistivité ρ d'un milieu est la propriété physique qui détermine la capacité de ce milieu à laisser passer le courant électrique. Expérimentalement la résistivité électrique peut être mesurée sur un échantillon de longueur L , entre deux plaques conductrices de surface S à l'extrémité du cylindre contenant la roche. La résistivité ρ [$\Omega.m$] ou la conductivité σ [$S.m^{-1}$] sont exprimées en fonction de la tension V [V] et du courant I [A] comme :

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{SV}{LI}$$

3-2- Facteurs influençant la résistivité électrique

Pour la plupart des roches près de la surface du sol (moins de 15 km), la résistivité est entièrement électrolytique, i.e. le courant électrique passe à travers l'eau qui est contenue dans les roches. La quantité et la composition de cette eau sont donc particulièrement déterminantes de la résistivité électrique.

D'après Descloitres (1998) [7], Parmi les facteurs qui nuancent la résistivité électrique on peut citer :

- La porosité des roches : la forme et la taille des pores, la connexion et les passages entre les pores ;
- La fracturation des roches : le type, la taille et les dimensions des fractures ;
- La présence de sels dans l'eau : la mobilité, la concentration et le degré de dissociation des ions ;

- La température : la résistivité électrique diminue avec l'augmentation de la température à raison de $0.19 \Omega \cdot m$ par degré ;
- Le type de roches : les sols et les roches peuvent être différenciés par leur résistivité électrique

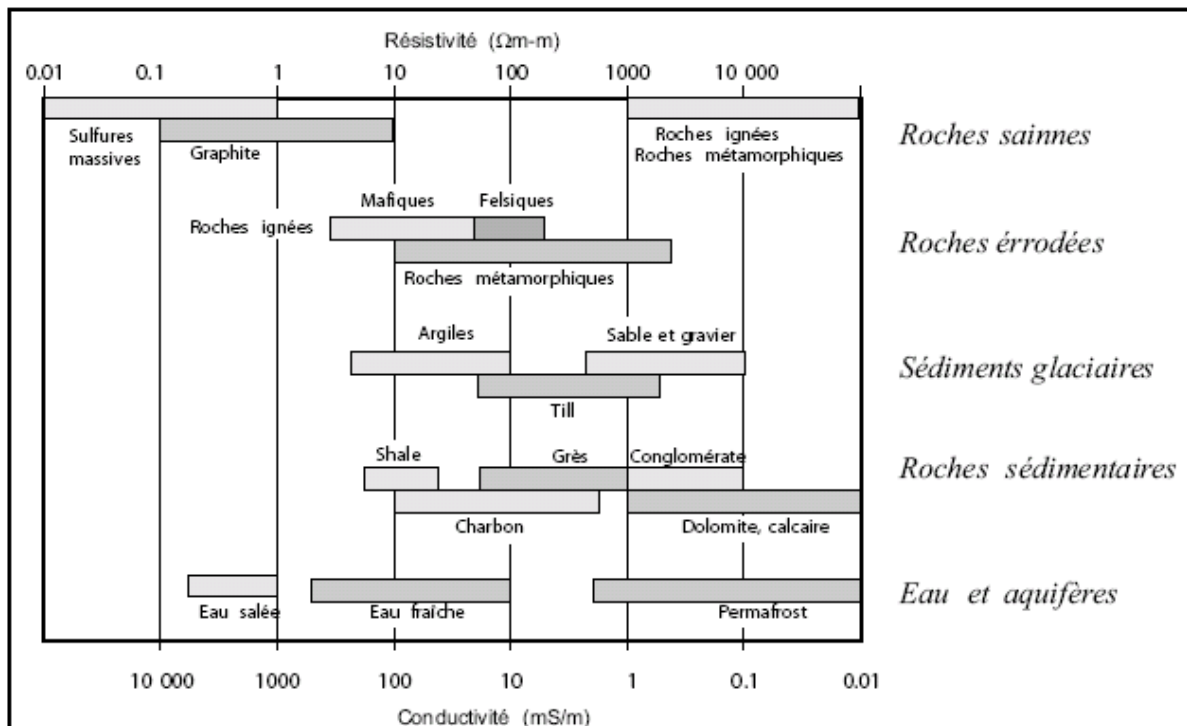


Figure II- : Résistivité des différentes roches.

Cette figure montre quelques valeurs et les intervalles typiques de la résistivité de différentes roches et formations. L'argile joue un rôle important dans cette classification. Les couches argileuses constituent des barrières naturelles à la circulation de l'eau souterraine

3-3- Méthodes électriques

3-3-1- Généralité

Les méthodes électriques sont des méthodes classiques très utilisées en hydrogéologie. Elles se basent sur la mesure de la résistivité des formations géologiques. Les formations géologiques possèdent très souvent des résistivités spécifiques restant approximativement constantes, en tous les cas localement, alors qu'elles varient considérablement d'une formation à l'autre.

Le travail du prospecteur-géophysicien consiste d'abord, à diviser l'espace constitué par le sous-sol de son investigation, en un certain nombre de domaines séparés par des surfaces

discontinues. Ensuite, il précise l'allure de ces surfaces, tout en indiquant la valeur moyenne des paramètres des milieux qu'il a délimités et finalement, le géologue complète le travail de géophysique.

3-3-2- Mise en œuvre

On injecte du courant électrique par des électrodes (**A et B**) et on mesure la distribution du potentiel (**M et N**). Cette distribution varie selon la nature physique des terrains investigués.

En terrain homogène, il existe une relation entre le potentiel électrique V mesuré aux bornes d'une électrode et le champ électrique E généré à travers un concept de gradient d'une fonction potentielle scalaire donnée par

$$\mathbf{E} = - \Delta V.$$

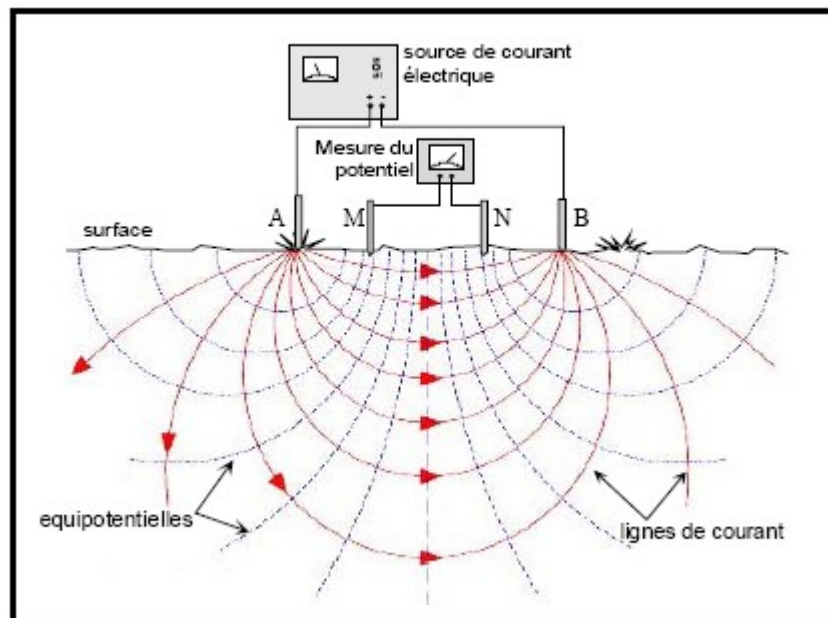


Figure II- : Configuration des électrodes en prospection électrique

De la même manière, la loi d'Ohm donnée par $\mathbf{E} = \rho \mathbf{J}$ associe le champ électrique, la densité de courant $\mathbf{J}$ et la résistivité ρ du volume de terrain considéré. Si l'on conjugue ces deux relations et que l'on prend en compte la seconde électrode, nous obtenons la relation suivante :

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

Avec:

- ρ_a = résistivité apparente [Ωm]

- δV = potentiel [mV]
- I = intensité [mA]
- K = facteur de disposition des électrodes

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

La résistivité des formations est fortement fonction de leur teneur en eau.

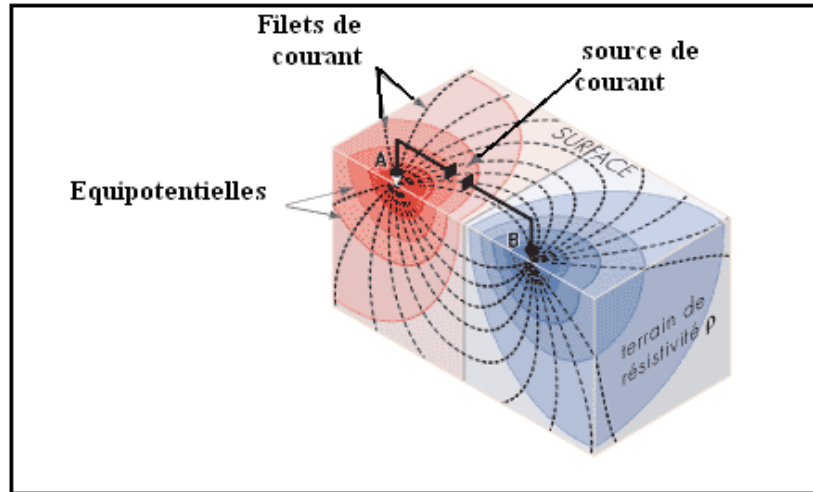


Figure II- : Effet de l'injection d'un courant à travers deux électrodes dans un terrain homogène

a) **Dispositif :**

Traditionnellement et par convention, on appelle A et B les électrodes d'émission (A est l'électrode source, B l'électrode puits), et M et N les électrodes de réception à l'aide desquelles on mesure la différence de potentiel $V_M - V_N$. En courant continu, deux dispositifs sont bien connus et utilisés depuis longtemps par les prospecteurs, ce sont les dispositifs Schlumberger et Wenner issus respectivement des écoles française et américaine. Il s'agit de quadripôles linéaires symétriques, bien adaptés au sondage électrique, c'est-à-dire, destinés en priorité à l'étude des structures tabulaires (structures 1D).

Le dispositif Wenner est représenté par la figure suivante :

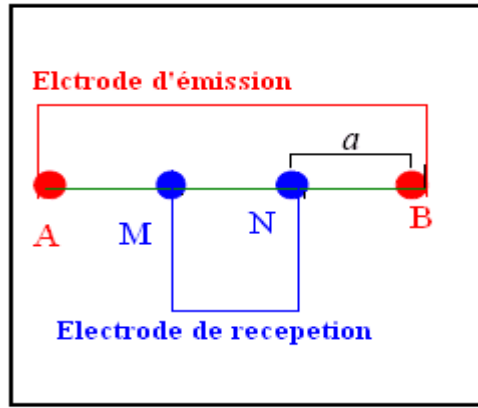


Figure II- : Schéma de sondage électrique de type Wenner

Les quadripôles sont alignés et la distance AB est égale à 3 fois la distance MN. Le facteur géométrique K s'écrit:

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

$$= \frac{2\pi}{\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}} \quad (2)$$

$$= \frac{2\pi}{\frac{1}{a}} \quad (3) \quad \text{Soit } \rho = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (4)$$

Avec :

I : le courant injecté dans les électrodes de courant ;

ΔV : la différence de potentiel entre les électrodes de potentiel ;

ρ : la résistivité.

Pour effectuer chaque mesure de résistivité, la distance entre les électrodes de potentiel et les électrodes de courant varie (n=1, 2,3,...).

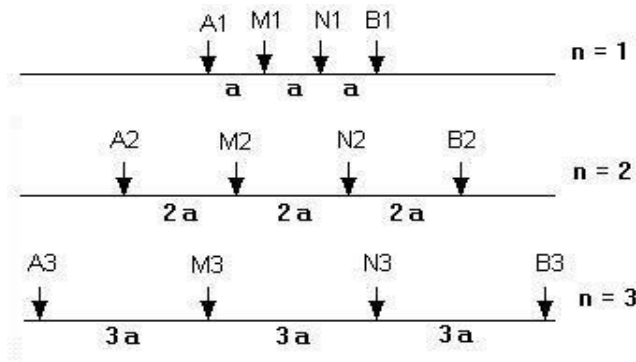


Figure II- : Configuration Wenner (d'après M.H.Loke [12])

Pour un sous-sol homogène et isotrope la résistivité ρ donnée par la relation (4) est dite « vraie ». Mais dans la pratique, on a des structures hétérogènes, et ρ devient « résistivité apparente ρ_a » que l'on définit comme la résistivité vraie d'un milieu homogène fictif et isotrope équivalent au milieu hétérogène, mesurée dans les mêmes conditions. La résistivité apparente dépend de la configuration des électrodes et des résistivités des différents terrains.

b) Interprétation

L'interprétation basée sur le modèle de terrain 1D ou modèle tabulaire considère des couches homogènes avec des surfaces de séparation planes et horizontales. Ce modèle permet de déterminer les différentes successions du terrain prospecté.

Pour le sondage électrique, le document d'interprétation utilisé est la courbe de sondage des résistivités apparentes en fonction des distances ($AB/3$ pour le dispositif Wenner) que l'on traite en deux étapes :

- une première étape de traitement par abaque, donne un modèle tabulaire approximatif ;
- une deuxième étape, affine ce modèle à l'aide d'un programme, par exemple QWSEL du CRG de Garchy (CNRS ; France). On obtient alors après plusieurs itérations un modèle final des résistivités et des épaisseurs des différentes couches.

Il est à remarquer que la profondeur d'investigation en sondage Wenner est de l'ordre de $a/2$, mais elle dépend fortement de la résistivité des différentes couches.

PARTIE III : SYNTHÈSE D'IMAGE 3D ET
LOGICIEL ROCKWORKS2006

La synthèse d'image en trois dimensions souvent abrégée 3D est un ensemble de techniques permettant la représentation d'objet en perspective sur un moniteur d'ordinateur. Elle est actuellement très utilisée dans nombreux domaines notamment dans l'industrie du film et en particulier en hydrogéologie et géophysique. Plusieurs logiciels assistent à la modélisation en particulier le Rockworks2006.

III- 1 : Historique

La dénomination image 3D est le nouveau nom donné à ce qu'on appelait dessin ou peinture perspective depuis la Renaissance. Avant l'apparition des ordinateurs, la perspective était obtenue par des méthodes graphiques. Actuellement, les dessins sont calculés numériquement en partant des données numériques tridimensionnelles. Ceci permet de changer facilement le centre de projection et ses différents paramètres. Les images de synthèse ont débuté au début des années 1950 aux Etats-Unis et réservées à la recherche, notamment universitaires. On construisit un système composé d'un tube cathodique et d'un crayon optique d'après une idée d'Ivan Sutherland, du Massachusetts Institute of Technology (MIT), pour un contrôle aérien de l'armée de l'air, puis en 1961 on ajouta sur l'écran une croix pour indiquer la position du crayon optique.

Jusqu'aux années 1980, peu de personnes abordaient ce domaine en raison des coûts élevés des matériels. Mais l'apparition des ordinateurs personnels, tels le Xerox Star, l'IBM-PC en 1981 et l'Apple Macintosh en 1984, a démocratisé l'utilisation de la 3D pour l'étude universitaire et dans d'autres domaines.

Mais, c'est à partir des années 1990 que l'image de synthèse et la 3D se démocratisèrent et se développèrent de façon importante, avec notamment l'arrivée de matériels plus puissants.

III-2 : Généralités

La synthèse d'image 3D fait appelle à un espace vectoriel décomposé en trois dimensions sur les axes cartésiennes nommés habituellement X, Y et Z.

III-3 : Techniques

La synthèse d'image 3D se décompose essentiellement en 2 étapes :

- Modéliser ce qu'on veut visualiser ou représenter : Cette étape est appelée Modélisation.
- Effectuer la visualisation de ce que l'on a modélisé : Cette étape est appelée rendu.

Dans chacune de ces étapes un grand nombre de techniques existe. Bien que théoriquement les techniques de modélisation et de rendu soient indépendantes, il va de soi que le rendu doit pouvoir exploiter les données modélisées et bien souvent une technique de modélisation est étroitement associée avec une technique de rendu.

3-1- Modélisation

La modélisation va consister à faire stocker par l'ordinateur un ensemble de données géométriques et de caractéristiques graphiques permettant de représenter ensuite le modèle : Ce modèle est habituellement appelé scène 3D.

3-1-1- Type de modélisation

En 3D, les différents types de modélisation sont :

- **CGS** (Constructive Solide Geeometry) : les objets sont définis par des opérations (union, intersection...) sur des formes géométriques dans l'espace (polyèdre, sphère...) ;
- **BRep** (boundary Representation, représentation par frontière) : la surface de chacun des objets est limitée par des formes géométriques 2D (généralement des triangles). C'est le format naturel de sortie des scanners 3D qui mesurent les côtes de points à la surface des objets. C'est aussi la représentation généralement utilisée par les dispositifs d'affichage accélérés pour la 3D ;
- **Splines**, où les surfaces sont décrites par des courbes formant un treillis.
- **Surfaces implicites**, les objets à représenter sont décrits par des surfaces joignant des volumes, le plus souvent des sphères ;
- **Voxels**, reprenant en 3D l'analogie des images numériques où l'espace est divisé en intervalles réguliers.

3-1-2- Logiciel de modélisation

Il existe plusieurs logiciels de modélisation mais dans ce présent mémoire, nous allons utiliser RockWorks2006, le logiciel le plus moderne de nos jours en géosciences.

III-4 : Logiciel RockWorks2006

4-1- Introduction

RockWorks2006 est la plus nouvelle version du progiciel intégré de RockWare pour la gestion, l'analyse et la visualisation des données géologiques. Il offre une suite complète d'outils à usage facile pour modéliser ou créer des images en travaillant avec des données de surface ou du sous sol. RockWorks comporte deux fenêtres principales de données : Borehole Manager et RockWare Utilities.



Figure III- : logos du logiciel RockWare

4-2- Borehole Manager

Borehole Manager est l'interface des données de RockWorks conçue pour faire entrer les données du sous sol (géophysique ou géochimique, lithologies, stratigraphie, niveaux de l'eau et d'autres). Il est l'une de deux fenêtres des données disponibles dans RockWorks2006. Une fois démarré le logiciel, on accède au « Borehole Manager » en cliquant sur la grande étiquette se trouvant le long du côté gauche de la fenêtre du programme et celui-ci apportera la fenêtre du Borehole Manager au devant.

Les données de cette interface sont entreposés dans un fichier appelé MDB qui servira à créer les différentes images (2D et 3D). L'autre fenêtre des données est « RockWare Utilities ». Il remplit pratiquement la même fonction que celui d'avant.

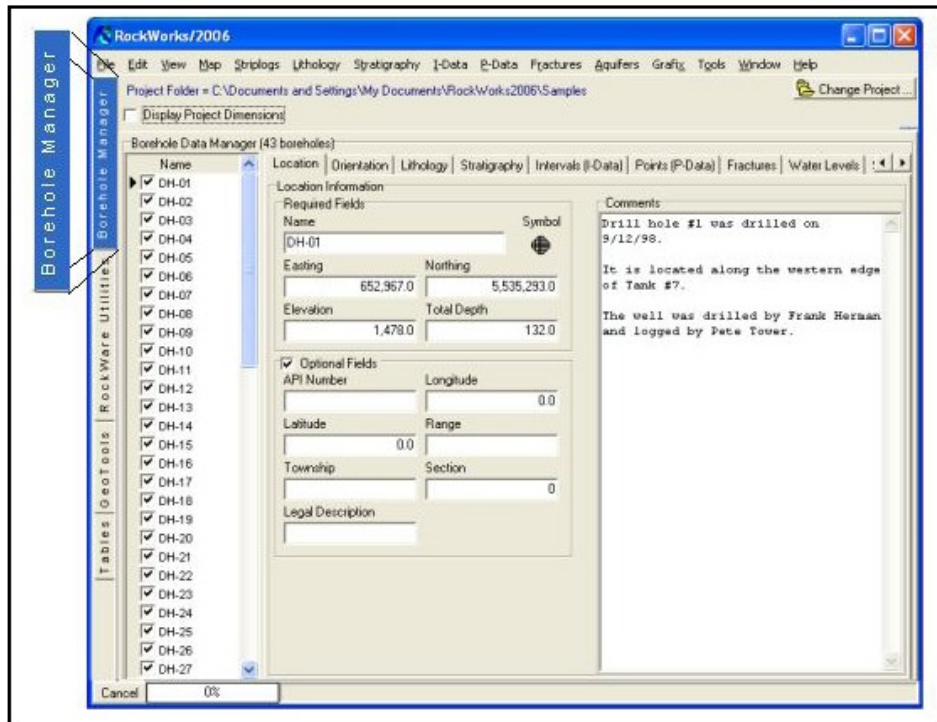


Figure III- : Interface du Borehole Manager

4-3- Création d'un nouveau projet

Chaque projet avec lequel on travaille sur Borehole Manager doit comporter son propre classeur appelé Classeur du Projet(CP). Le CP est le fichier où la base de données est stockée. Il porte automatiquement le même nom que celui du projet. Les dossiers graphiques, les modèles solides et les autres accessoires nécessaires au projet sont sauves dans cette même base de données. En d'autres termes, la création d'un nouveau projet dans RockWorks, engendre deux nouveaux articles sur l'ordinateur:

- Un nouveau classeur portant le nom du projet ;
- Un nouveau MDB, un sous classe à l'intérieur de ce même classeur portant aussi le nom du projet.

4-4- Dimensions du projet

Les Dimensions du Projet définissent pour le programme, les coordonnées limites et l'espacement des nœuds pour les modèles solides du projet.

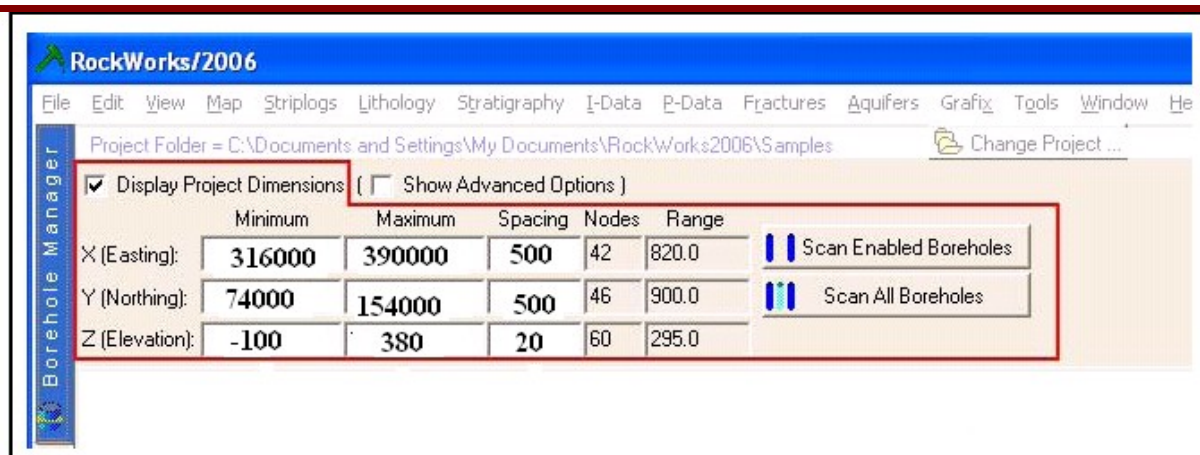


Figure III- : Fenêtre de l'ajustement dimensionnel

Ces coordonnées limites peuvent être entrées manuellement ou déterminées automatiquement par le programme en cliquant sur le bouton "Scan All Boreholes". Les X et Y limites représentent les coordonnées du plan en surface et Z de celui en élévation. Ces dimensions sont entreposées dans la base de données du projet.

4-5- Fenêtre d'exposition des résultats

La présentation des modèles 3D se fait dans RockPlot3D. Cette fenêtre se produit automatiquement une fois la création d'un graphique 3D. Elle fournit une rotation interactive et permet d'ajuster les couleurs et l'éclairage des modèles.

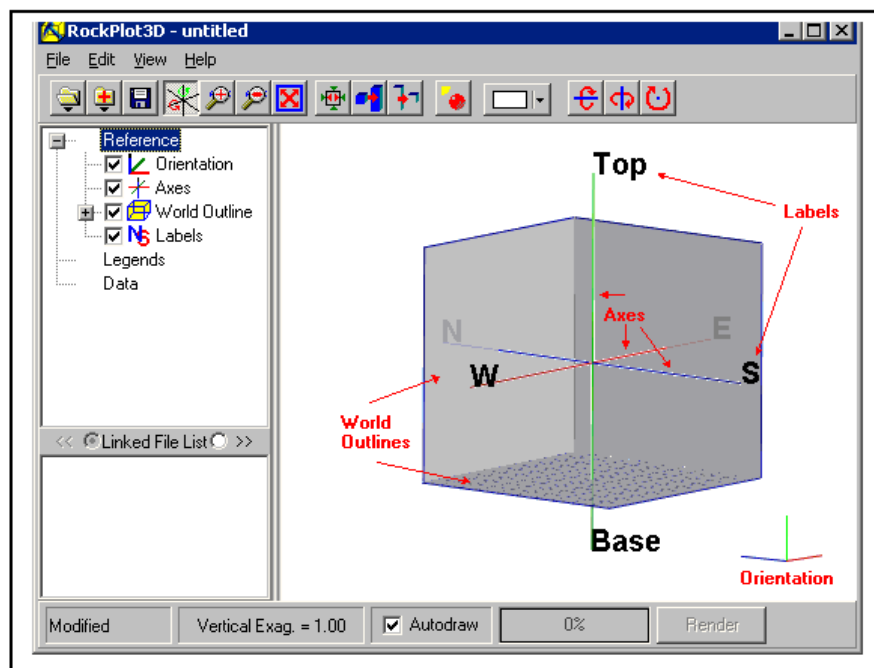


Figure III- : Fenêtre d'exposition des modes 3D

4-6- Présentation des données dans RockWorks2006

La fenêtre Borehole Manager demande des tables pour entrer les différents types de données. Elles peuvent être introduites manuellement ou importées à partir d'un fichier Excel ou Ascii. La table des données est entreposée dans un fichier MDB (base de données du projet). Cette dernière comprend différents types de données entre autre des données de localisation, de sondage (désigné par P-data), de données stratigraphiques et de donnée de types divers.

4-6-1- Données de localisation

Tout projet sur Borehole Manager doit comporter des données de localisation. Ces dernières désignent les coordonnées mesurées sur la zone d'investigation de chaque point à étudier. En outre, le programme va utiliser ces données pour déterminer automatiquement les dimensions du projet.

4-6-2- Données de P-data (données de sondage)

La table pour ce type de données est utilisée pour entrer des données mesurées à différents points et profondeurs positives du sous-sol. Elles concernent des données géophysiques (Résistivité du sol) ou d'autres. Ces données sont affichées sous forme des modèles solides ou plan.

4-6-3- Données de stratigraphie

La table consiste à insérer des données stratigraphiques. Trois colonnes sont nécessaires pour la construire :

- Haute profondeur : Cette colonne contient la profondeur au sommet de la première couche stratigraphique. La valeur de la profondeur doit être positif ;
- Basse profondeur : Elle désigne la profondeur mesurée à la base du premier horizon stratigraphique ;
- Formation: C'est la colonne des noms des couches stratigraphiques.

Les noms et les couleurs de chaque couche sont entreposés dans la base de données du projet.

4-6- Model solide ou P-data

Le modèle solide est un vrai processus à 3 dimensions, utilisé pour créer une “boîte” de nœuds régulièrement espacés pour des données irrégulièrement espacées. Le programme peut interpoler des données géochimiques, de données géophysiques, de données stratigraphiques ou toutes autres données du sol.

Après l'enregistrement des dimensions de la zone d'étude, le programme va la diviser cette en cellules ou Voxels à trois dimensions. Chaque cellule est définie par ses points du coin ou nœuds. Les coordonnées X, Y et Z appropriées, seront assignés à chaque nœud relatif de la région d'étude. Un quatrième variable G, représente la concentration de la valeur à interpoler.

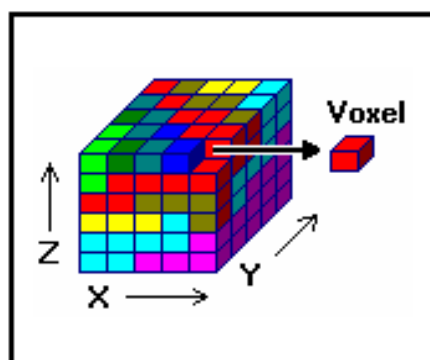


Figure III- : Modèle 3D en Voxel

4-7- Modèle stratigraphique

Le model stratigraphique permet de créer un diagramme de surface à 3D qui permettra, à son tour, de visualiser les couches stratigraphiques. Le modèle solide stratigraphique est construit par la superposition de plusieurs modèles de surface à 2D représentant chacun les différentes couches stratigraphiques du sommet vers le bas. Le processus implique l'interpolation d'un modèle de la grille pour la surface supérieure et inférieure de chacun des unités stratigraphiques. Le diagramme sera affiché dans une fenêtre RockPlot3D, avec la surface des formations supérieures, inférieures, et panneaux latéraux.

Les couleurs des couches et les profondeurs de chaque couche sont définies dans un fichier appelé « table type stratigraphique ».

Ces données stratigraphiques peuvent être aussi affichées sous forme de model 3D avec lissage ou sans lissage.

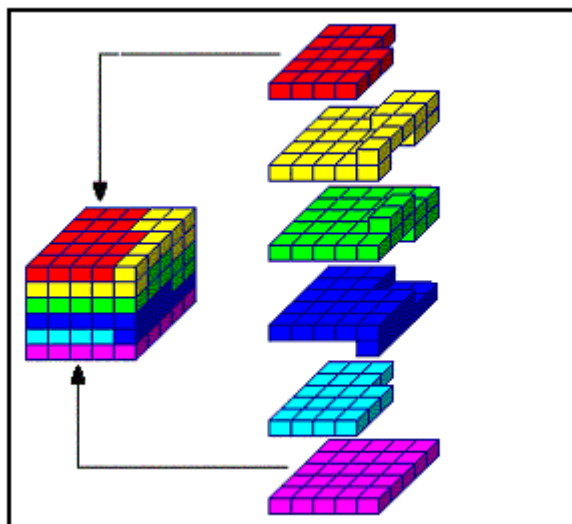


Figure III- : Description du modèle stratigraphique

PARTIE IV : PRÉSENTATION **DES** **DONNÉES ET INTERPRÉTATION**

Une meilleure étude du sous sol implique l'utilisation et l'analyse au préalable de différents types de données. Avant la modélisation hydrogeophysique en 3D du sous sol de la zone d'étude, la présentation des données utilisées s'avèrent nécessaires. Elles sont multiples et d'origines diverses en particuliers des données issues des Travaux antérieurs, de la base de donnée de la FTM (BD500), des Photos satellitaires et des données géophysiques.

IV-1 : Travaux antérieurs

La partie littérature de ce mémoire est assurée par une documentation approfondie de plusieurs documents scientifiques notamment des thèses et mémoire de DEA, des articles tirés de l'internet et d'autres. La référence de tous ces livres est bien mentionnée dans la partie référence bibliographique.

Depuis longtemps, le Sud de Madagascar et en particulier la région de l'Androy a fait l'objet de plusieurs études hydrogéologiques et/ou géophysiques. L'interprétation des différents sondages électriques et coupes géoélectriques a montré une prédominance des formations argileuses dans la région de l'Androy. Ces dernières constituent une barrière verticale à toute infiltration des eaux de précipitation.

Les travaux de GARO Joëlson et RAKOTONDRAMANO Heliarivonjy ont montré la présence de l'aquifère dans la région de l'Androy, mais celui-ci se distingue d'un endroit à l'autre [9 et 20].

L'étude d'ANDRIANOMENJANAHARY Solofonotahina montrent que les aquifères rencontrés sont différents d'un site à l'autre compte tenu des valeurs de conductivités électriques et de résistivités obtenues, mais il y a deux types de nappes : nappe perchée et nappe générale. La nappe générale est contaminée directement par l'eau de mer [2].

Dans sa thèse de doctorat, RABEMANANA Vero a prouvé que la conductivité électrique des eaux et leurs faciès géochimiques sont variables, ce qui justifie la salinité des eaux au Nord de notre zone d'étude. En plus, elle a aussi démontré que le caractère hétérogène de la lithologie et la discontinuité des aquifères ne permettent pas de corréler les formations géologiques, les paramètres hydrodynamiques et la conductivité électrique des eaux. [16]

IV-2: BD 500 de la FTM

Les différentes cartes figurant dans la partie « Contexte générale de la zone d'étude » de ce mémoire sont élaborées en se servant de la base de données « BD 500 » de la FTM.

IV-3 : Image satellitaire

On utilise deux photos satellitaires LANDSAT-TM de scène 159077 et 159078 qui couvrent la partie Sud de Madagascar obtenues auprès de la FTM. Les images seront découpées, rehaussées et traitées avec le logiciel Envie 4.2.

IV-4 : Données géophysiques

Les données géophysiques utilisés dans ce mémoire sont celles de 200 sondages électriques réalisés dans la région de l'Androy, dans le cadre du projet « Etude sur l'approvisionnement en eau potable, autonome et durable dans la région du Sud de la République de Madagascar » coréalisé en 2005 par la Japan Techno LTD, la Société Géosciences pour le Développement de Madagascar (SGDM) et l'ONG Taratra [23]. Les 150 sondages électriques se répartissent quasiment et régulièrement sur un pas de 500m et les 50 restantes sur un pas de 100m. Comme le montre la figure ci-dessous, La majeure partie de ces mesures sont exécutées dans la formation sédimentaire et se concentrent autour de la ville d'Ambovombe.

En fonction des données de forage existantes, Les 200 sondages vont être modélisés en 3D en utilisant le logiciel Rockwork2006.

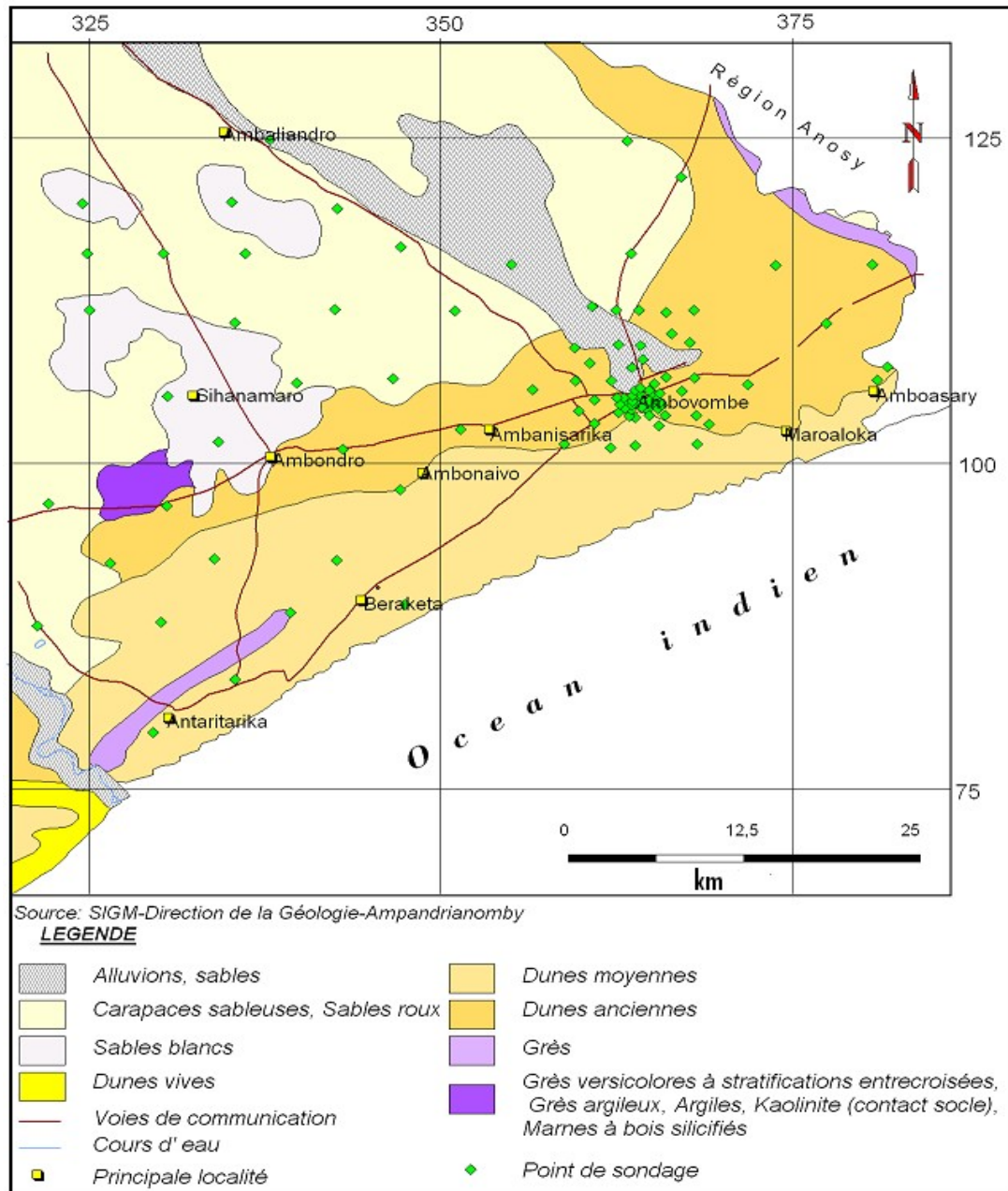


Figure IV- : Géologie et localisation des points de sondage électrique

IV-5 : Analyse par image satellitaire

La télédétection permet le traitement numérique des images satellites sur trois plans [8]:

- Sur le plan géologique : l'existence des linéaments et des foliations exprime la reconnaissance structurale du terrain,
- Sur le plan géographique : l'abondance de la végétation marque l'humidité du sol,
- Sur le plan hydrographique : souvent les lignes hydrographiques coïncident avec les directions des linéaments, mais il faut noter surtout que les rivières sont alimentées par des réservoirs souterrains ou l'inverse.

Les étapes que nous avons suivies pour le traitement d'images sont :

- le rehaussement d'image par l'étalement linéaire et égalisation d'histogramme pour les images brutes.
- l'analyse des composantes principales et choix des canaux comportant les informations intéressantes à cet ouvrage.
- l'assemblage des quatre images pour chacune des huit canaux
- le découpage des images
- le filtrage
- la visualisation multicanale.

L'analyse des compositions colorées a aboutit à plusieurs combinaisons possibles mais le canal 7 de l'image satellite 159078 présente une imperfection qui le rend inapplicable, de même que pour le canal 8, donc nous travaillons sur les 7 canaux restants.

Par conséquent, nous retenons les combinaisons 321 et 531. Ces deux combinaisons sont beaucoup plus adaptées à une étude hydrogéologique [7]. Pour chaque combinaison, nous avons fait un rehaussement de la dynamique pour bien visionner les contrastes. Les résultats sont présentés dans les figures ci-après.

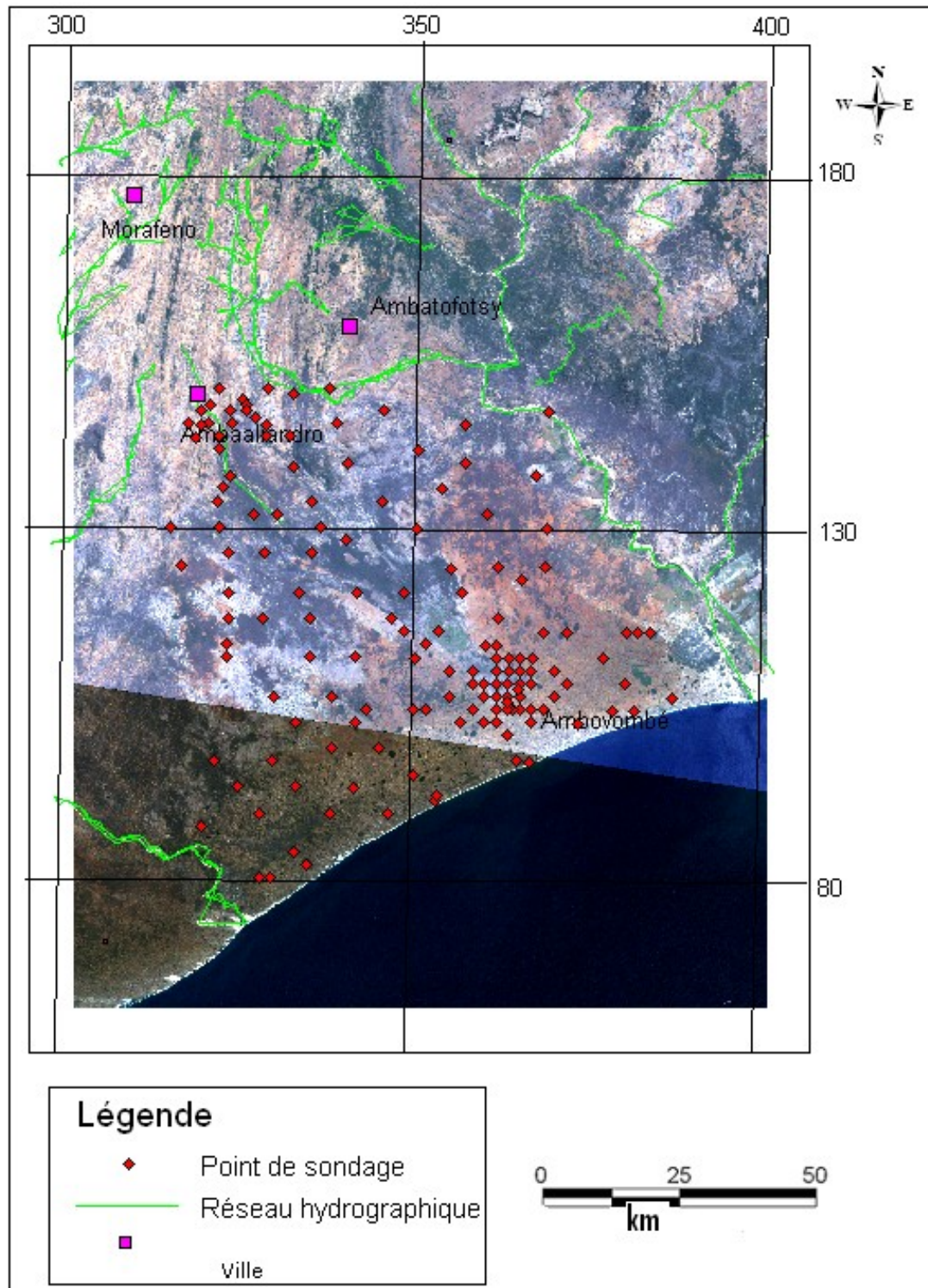


Figure IV- : Composition colorée 321 avec réseau hydrographique

Cette composition colorée résulte de la combinaison de trois canaux TM3, TM2, TM1. Elle montre une couleur proche de la réalité. Les végétations sont colorées en vertes, le sol en blanc et les rivières de faible profondeur de même que la formation dunaire sableuse en

blanches. Mais, pour mettre en évidence le réseau hydrique, il est retracé en verre clair. Il est à souligner que la densification du réseau hydrographique est localisée au Nord de la zone d'étude et s'affaiblit largement au Sud.

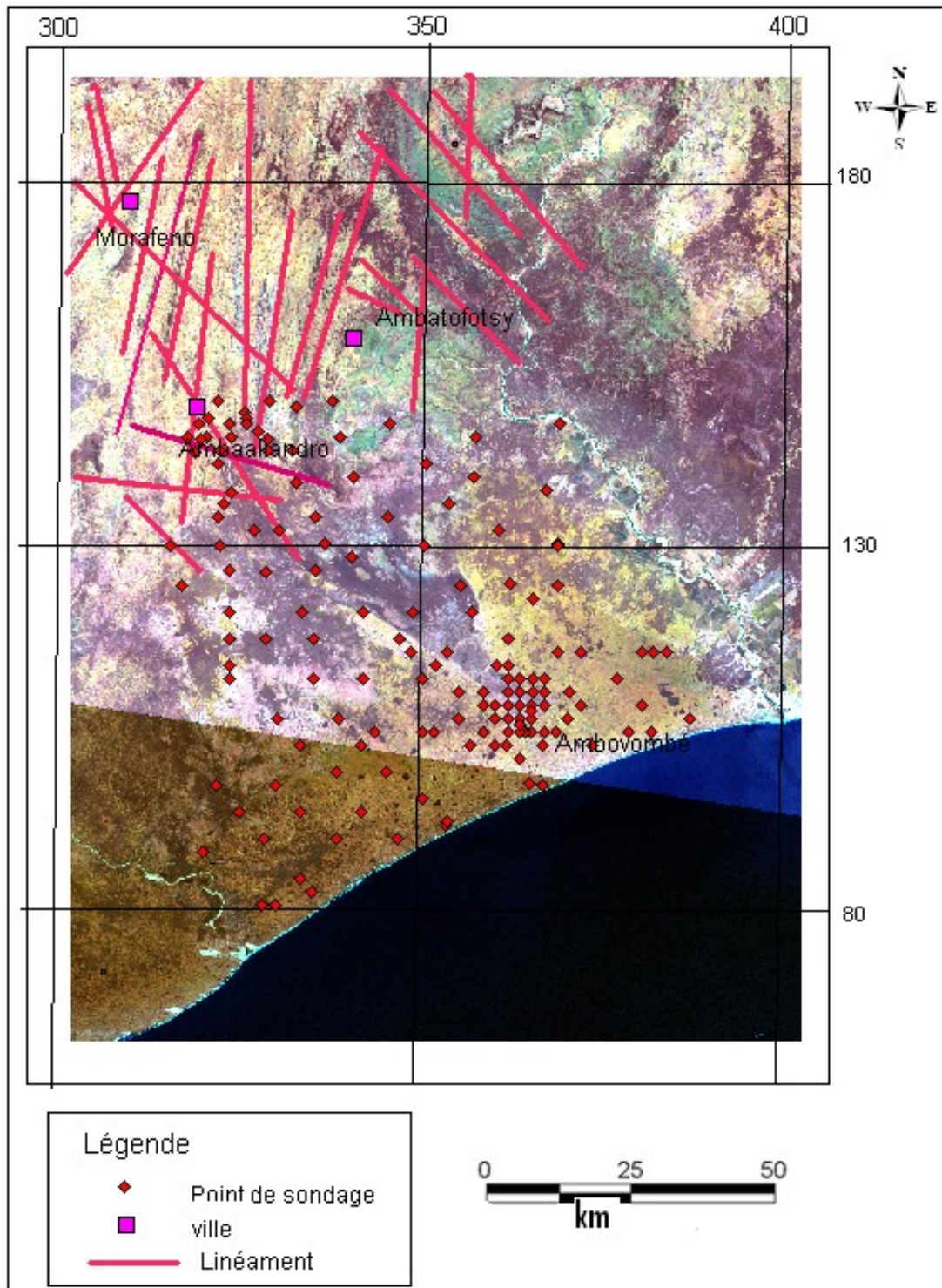


Figure IV- : Composition colorée 531 avec linéaments

Cette figure met en évidence les structures linéaires telles que les failles et cassures dans la région mais aussi la foliation. Le (Nord- Ouest)-(Sud-Est) et le (Nord-Est)-(Sud-Ouest) sont les deux directions majeurs privilégiés par les linéaments présents dans cette figure. Leurs intersections constitueraient de réservoirs d'eau souterraine majeure, malheureusement ils se trouvent dans la partie Nord de la zone d'étude.

IV-6: Modélisation Hydrogéophysique par Rockworks2006

La modélisation par Rockworks2006 a permis d'obtenir plusieurs types de figures entre autre, des modèles solides, des modèles stratigraphiques et des cartes d'iso-valeur de résistivité. Le traitement des données a nécessité leur préparation au préalable.

6-1- Préparation des données

La préparation des données a consisté à élaborer les fichiers de la base de données du projet. Cette étude a pris en compte des données de localisation, de P-data et des données stratigraphiques.

Données de localisation

Tableau IV- : Extrait de la table des données de localisation

Bore	File	Range	Easting	Northing	Elevation	TD
V001E	V001E		387430	106274	200	138
V002E	V002E		380710	108124	231	90,5
V003E	V003E		371851	106272	161	108
V004E	V004E		363901	106288	138	95
V005E	V005E		355507	106278	171	136
V006E	V006E		345424	108097	227	83
V007E	V007E		338707	106245	205	101
V008E	V008E		330319	106216	206	63
V011E	V011E		345448	98874	263	157

Avec :

V001E, V002, V003... représentent le nom de chaque point de sondage.

Easting, Northing et Elévation, ceux sont les coordonnées cartésiennes (x, y, z) qui caractérisent l'emplacement de chaque point de sondage.

TD représente la profondeur d'investigation totale atteinte par chaque point de sondage.

P-data

C'est une table qui comporte les valeurs de résistivité de chaque formation et sa profondeur correspondante. Notons que l'interprétation des données de sondage électrique verticale s'est faite avec le logiciel Qwsel.

Tableau IV- : Extrait de la table de P-data

Bore	Type	Depth	Value
V001E	Resistivity	2	695
V001E	Resistivity	35	380
V001E	Resistivity	43	340
V001E	Resistivity	58	160
V002E	Resistivity	0,5	121
V002E	Resistivity	7	63
V002E	Resistivity	18	171
V002E	Resistivity	65	314
V003E	Resistivity	1	250
V003E	Resistivity	6	124

Données stratigraphiques

Tableau IV- : Extrait de la table des données stratigraphiques

Bore	Depth1	Depth2	Stratigraphy
V001E	0	37	Formation1
V001E	37	95	Formation2
V001E	95	138	Formation1
V001E	138		Formation5
V002E	0	18,5	Formation2
V002E	18,5	26	Formation3
V002E	26	90,5	Formation1
V002E	90,5		Formation4
V003E	0	1	Formation1

Cette table montre les principales éléments constituant la table des données stratigraphiques. En plus du nom de chaque point de sondage, elle renferme la profondeur et les noms des formations stratigraphiques.

Les travaux antérieurs ont permis de faire une classification stratigraphique suivant la variation de la résistivité (Tableau IV-4). Le tableau suivant représente la répartition des couches stratigraphiques en fonction de leurs résistivités.

Tableau IV- : Classification stratigraphique suivant les valeurs de résistivité

Rang de la formation	Gamme de résistivité en $\Omega.m$	Couche stratigraphique correspondante
Formation 1	$R > 250$	Couverture latéritique, formation sableuse ou socle cristallin
Formation 2	$80 < R < 250$	Nappe de dune ou nappe de fracture
Formation 3	$40 < R < 80$	Sable argileux ou marnes
Formation 4	$10 < R < 40$	Argile sableux
Formation 5	$R < 10$	Nappe régionale (attaqué par l'évasion marine) ou formation argileuse

Après l'exportation des données dans le logiciel Rockworks2006, les différentes tables serviront à construire les modèles solides, les cartes d'isorésistivité et les modèles stratigraphiques.

6-2- Modèles solides (ou modèle de P-data)

Dans notre cas, le modèle solide ou encore modèle P-data est une mode de présentation en 3D de la valeur des résistivités des différentes formations du sous-sol. Le calcul a pris comme Voxel 500 x 500 x 20m (longueur x largeur x hauteurs).

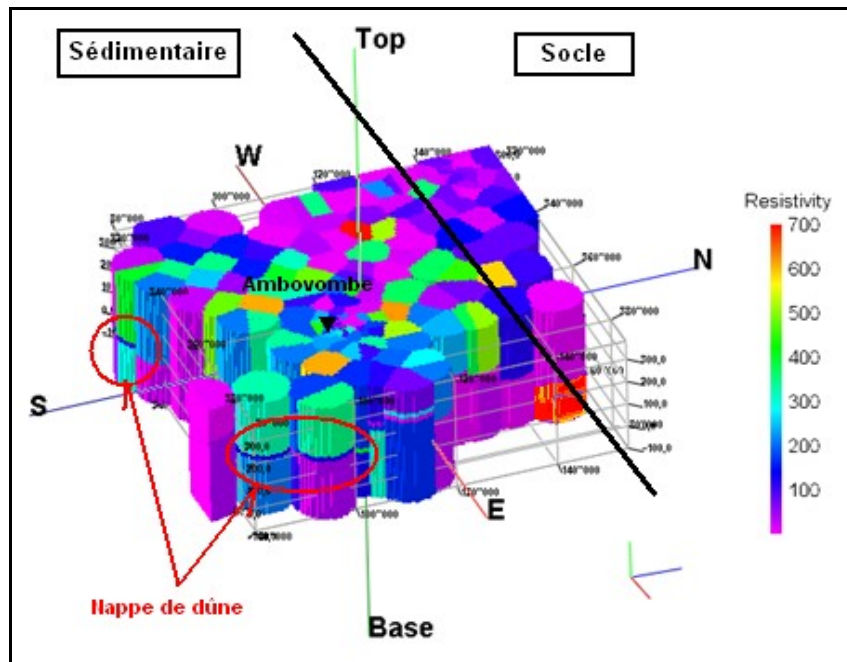


Figure IV- : Modèle solide vue de côté Sud Est

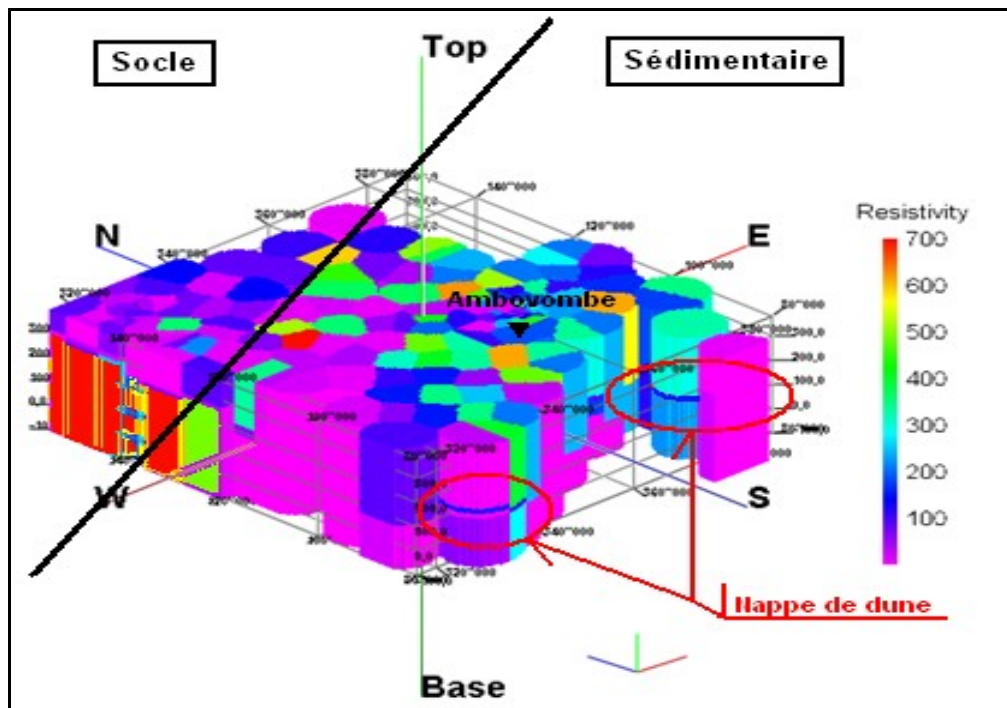


Figure IV- : Modèle solide vue de côté Sud Ouest

Les deux figures IV-4 et IV-5 représentent les modèles solides à 3 dimensions vus de deux angles différents. Elles sont délimitées par les coordonnées ($X_{min}= 3160000$, $X_{max}=3900000$), ($Y_{min}=74000$, $Y_{max}=154000$) et ($Z_{min}=-100$, $Z_{max}=380$). Elles résultent de l'interpolation de toutes les résistivités des 200 sondages réalisées dans la zone d'étude.

Une interprétation détaillée montre globalement la succession de plusieurs terrains en raison de la diversité des couleurs composant les figures. Les valeurs de résistivité varient entre 5 et $700\Omega.m$, la valeur de résistivité faible (inférieur à $50\Omega.m$, coloré en violet) indique une formation conductrice qui pourrait ressembler à une formation argileuse, la valeur de résistivité moyen (de l'ordre de $100\Omega.m$, coloré en bleu) pourrait correspondre à l'aquifère recherché, la forte valeur de résistivité (supérieur à $400\Omega.m$, colorée en rouge) indique le substratum rocheux dans lequel on pourrait rencontrer la nappe de fracture beaucoup plus productive.

Cette mode de présentation a limité aussi le passage entre les formations, cristalline colorée uniquement en bleu et sédimentaire de couleur vert et bleu. De plus, elle met en évidence la localité de ce qui pourrait être une nappe de dune mais moins étendue et limitée. La transformation du modèle solide en modèle de surface permet de mieux voir la répartition des formations suivant les valeurs de résistivité. La figure (IV-6) présente la superposition de la délimitation des formations géologiques avec la carte d'iso- résistivité obtenue à l'altitude $Z = -40m$.

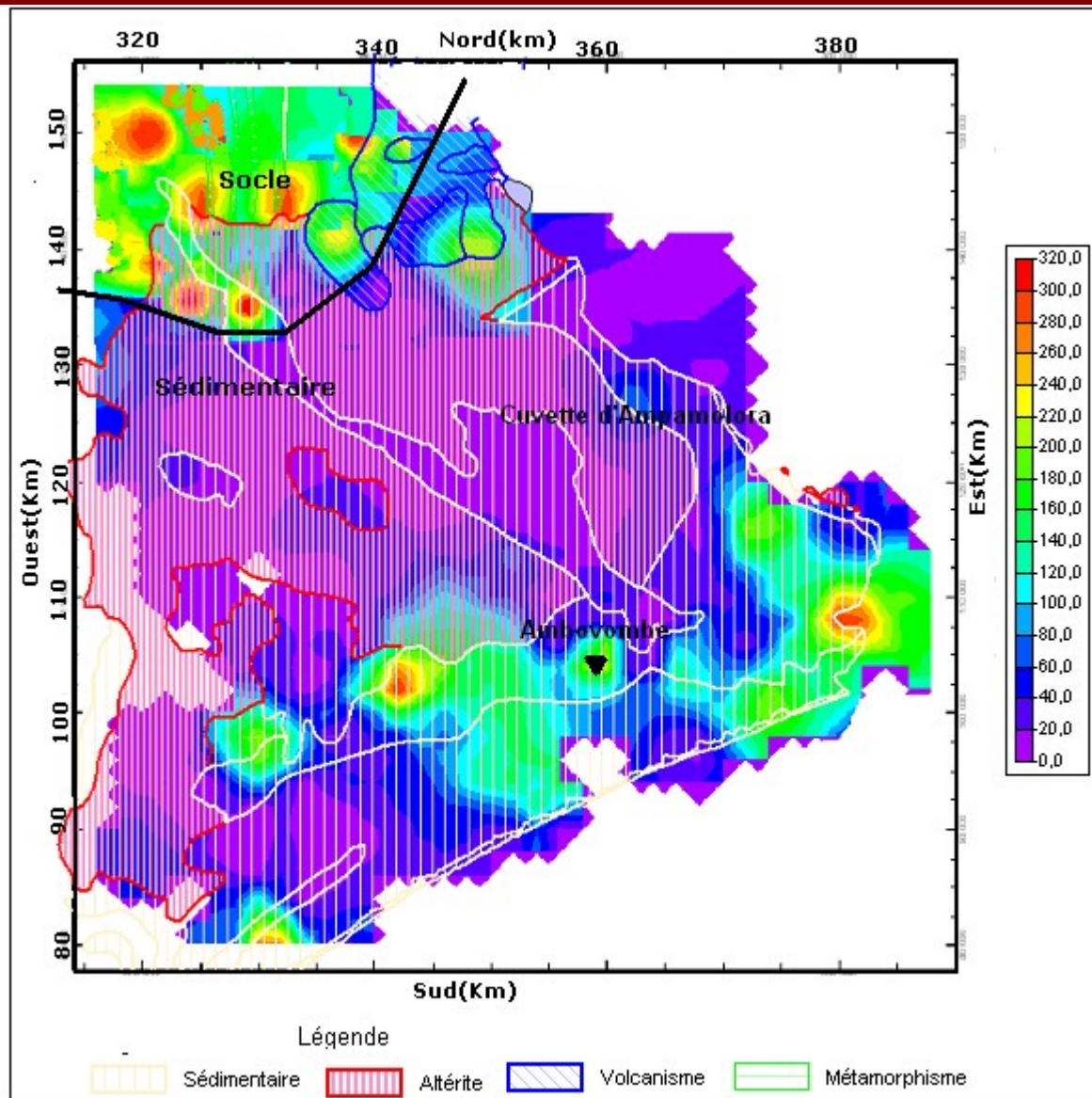


Figure IV- : Carte d'iso valeurs pour l'altitude $Z = -40m$

Ce modèle à deux dimensions montre une prépondérance de formations colorées en bleu, c'est-à-dire à faibles valeurs de résistivités. Elles pourraient correspondre aux formations argileuses décrites au paragraphe (IV-I). Elle montre aussi que les formations de résistivités moyennes, celles qui pourraient constituer un aquifère ne sont pas figurées à l'altitude $Z = -40m$. Elles se situeraient à une profondeur supérieure à $-40m$. Ce modèle de surface a mis aussi en évidence une anomalie de faible valeur de résistivité (inférieure à $20\Omega.m$, colorée violet), elle conviendrait à l'étendue de la cuvette d'Ampamolara où la formation argileuse est très épaisse. La figure a aussi met en évidence le socle situé au Nord de la zone d'étude en raison de la valeur élevée de la résistivité et la partie sédimentaire située au sud.

Le choix de la classification des différentes formations géo-électrique données au tableau IV-1 cité auparavant est justifié par la superposition de la carte géologique et de la carte d'iso-résistivité.

6-3- Coupe du modèle stratigraphique sans lissage

La coupe du modèle stratigraphique sans lissage de la figure (IV-7) montre les différentes formations géo-électriques sous les points de sondage de la zone d'étude. Elle nous donne une meilleure visualisation de ces différentes formations géo-électriques et en particuliers la formation aquifère et la formation rocheuse.

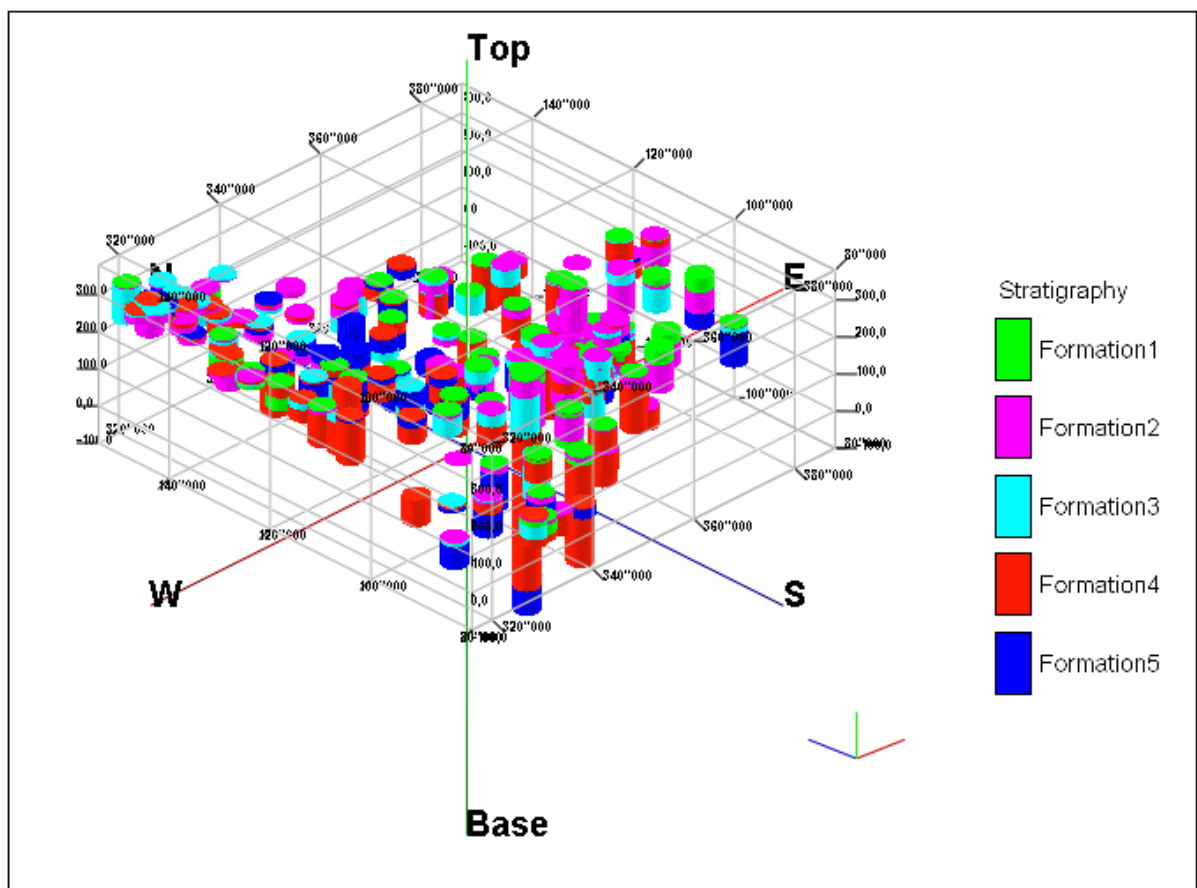


Figure IV- : Modèle stratigraphique sans lissage

La formation1 de couleur verte prédomine en surface, elle correspondrait soit la couverture latéritique ou à la formation sableuse. La gamme de résistivités de ces deux roches se rapproche au point de ne pouvoir pas les séparer. L'emplacement des nappes de dunes est encore localisé, elle est ici marqué par la formation de couleur rouge, mais à faible puissance.

La formation 5 montre soit la formation argileuse qui domine dans la cuvette d'Ampamolora où la nappe régionale en profondeur qui est contaminée directement par l'eau de mer [2].

6-4- Coupe du modèle stratigraphique avec lissage

Contrairement au modèle sans lissage, le modèle de résistivité de sous sol avec lissage illustre non seulement la stratigraphie géo-électrique sous les différents points de sondage mais aussi leur extrapolation sur l'étendue de la zone d'étude, c'est-à-dire, elle a permis d'avoir une mode de présentation beaucoup plus globale.

Cinq formations se présentent mais trois d'entre elles prédominent : Formation 1, Formation 4 et Formation 5.

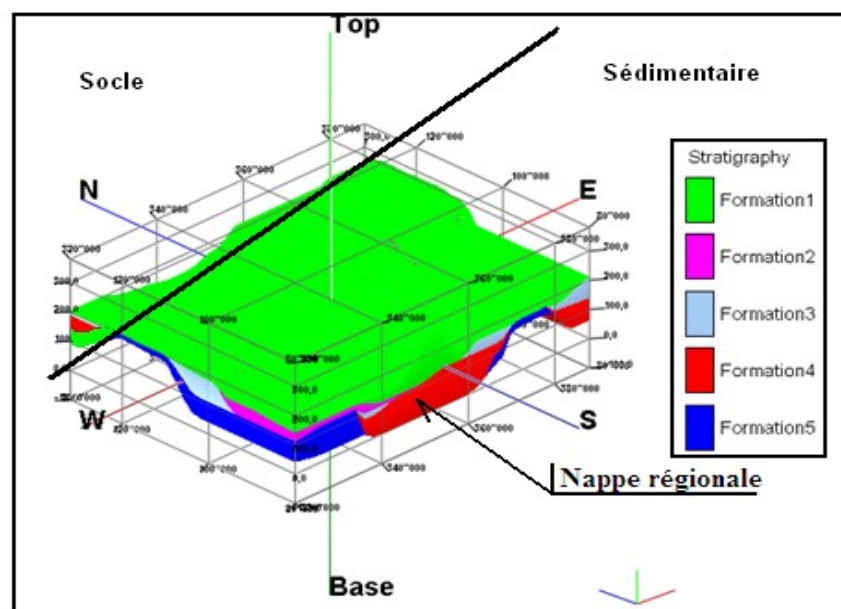


Figure IV- : Modèle stratigraphique avec lissage

Cette mode de présentation n'illustre pas le repérage de la nappe locale (nappe perchée ou nappe de dune), par contre elle marque très clairement la nappe générale. Elle est alimentée par les pluies ou par drainage dans le socle cristallin, elle débiterait dans la zone d'altération du socle, passerait dans le néogène continental pour se raccorder au niveau de la mer sur le littoral et aux nappes alluviales dans les vallées des grands fleuves [20].

CONCLUSION

Ce mémoire complètement les études hydrogéologiques antérieures et il a prouvé que la région de l'Androy souffre de problèmes de ressource en eau tant sur la quantité que la qualité.

L'analyse par image satellitaire a établi avec précision la direction majeure de la fracturation, source de réservoir d'eau souterraine. Malheureusement, leur potentiel se repère dans la partie Nord de la zone d'étude.

Les résultats des différents modes de présentation et de prospection électrique ont donné les résultats suivants :

La superposition de la carte de résistivité et de la géologie de la zone d'étude informe la nature géologique du sol suivant la valeur de leur résistivité.

La modèle solide et la coupe stratigraphique sans lissage sous les différents points de sondage renseignent la délimitation du passage entre la formation sédimentaire et la formation cristalline. Elles localisent également la nappe perchée.

La présentation des résultats stratigraphiques avec lissage montre non seulement la délimitation de la zone sédimentaire et la zone cristalline mais aussi la nappe générale de la région d'Androy. Elle débute dans la zone d'altération du socle pour se terminer au niveau de la mer, ce qui justifie la minéralisation très élevée de cette nappe générale, sauf pour les aquifères à proximité des deux grands fleuves. Par conséquent, la prospection par la méthode électrique est donc très utile pour une étude hydrogéologique, pour la localisation et la quantification de l'eau souterraine. En revanche, le mode de présentation en 3D des données permet de voir facilement la possibilité de distinguer sans difficulté le type de nappe (dans notre cas nappe locale et nappe générale).

Les connaissances hydrogéologiques de cette région conduisent à se demander s'il n'est pas temps de penser à une autre solution que celle de l'exploitation de l'eau souterraine.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **ALEXIS M. A.**, 2007. Application des méthodes géophysiques à la détection des sites précolombiens dans la région centrale de Panama et paramétrisation géoarchéologique dans le site hispanique de Panama Viejo. Thèse de doctorat de l'université de Paris 6. Spécialité, Géophysique appliquée.
- [2] **ANDRIANOMENJANAHARY S.**, 2007. Etude comparative entre la conductivité électrique des eaux souterraines et la résistivité du sous sol dans la région de l'Androy, Maitrise des Sciences et Techniques en Géophysique Appliquée, Université d'Antananarivo.
- [3] **BERGERON G.**, 1993. Projet 150 points d'au dans le sud de Madagascar, Etude de faisabilité. Rapport BRGM.
- [4] **BESAIRIE H.**, 1944. Hydrogéologie de l'extrême sud. Service géologique A.153
- [5] **BESAIRIE H.**, 1944. Recherches géologiques à Madagascar, l'extrême sud et le sud sud-est. Service géologique A.258.
- [6] **CHOUTEAU M.** 2001. Méthodes électriques, électromagnétiques et sismiques. Géophysique appliquée II GLQ 3202. Notes de cours.
- [7] **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 de Paris VI, 238p
- [8] **DUCHEMIN B.**, 2008. Observation spatiale des ressources hydriques et végétales : exemple d'applications en milieu semi-aride. Les XI èmes journées Scientifiques du réseau Télédétection de l'AUF.
- [9] **GARO J.**, 2005. Application des méthodes électriques et électromagnétismes à la détection des structures aquifères du bassin d'Ambovombe, DEA de Géophysique Appliquée, Université d'Antananarivo.
- [10] **GIRARD M.C.**, 1989 – Télédétection Appliquée zones tempérées et intertropicales, Masson, Paris, 260p.
- [11] **[Guyot 93] GUYOT G.** - De la physique de la mesure à l'agriculture, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, mai 1993, 124 p.
- [12] **KNIPPEL A.**, 1995. Utilisation des modèles de connexionnistes pour la classification automatique de données satellitaires. Mémoire d'ingénieur I.IE à l'Institut Supérieur Agricole de Beauvais(ISAB)
- [13] **LOKE M. H., BARKER R. D.**, 1996. Rapid least squares inversion of apparent resistivity pseudo-section by a quasi-Newton method. Geophysical prospecting, Vol 44, 1, 131-152
- [14] **M.A.E.P.**, 2003. Unité Politique pour le Développement Rural(UPDR). Monographie de la région d'Anosy.
- [15] **MARGAT J.**, 1994. Les ressources en eau. Manuels et méthodes. Editions BRGM.

[16] **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 de 3ème cycle en Sciences de la terre, Université de Paris 6.

[17] **RAKOTO H.**, 2003. Caractérisation par géophysique, hydrogéologie classique et hydrochimie des aquifères en zone semi-aride : exemple du bassin sédimentaire de Beloha, extrême sud de Madagascar. Thèse de Doctorat de 3ème cycle en Sciences Physiques, Université d'Antananarivo.

[18] **RAKOTONDRAINIBE J. H.**, 1983. Les eaux souterraines de Madagascar. Rapport d'étude.

[19] **RAKOTONDRAINIBE J. H.**, 1976. Hydrogéologie de l'extrême sud de Madagascar, zone comprise entre le MANDRARE et le MENARANDRA.

[20] **RAKOTONDRAMANO H. S.**, 2005. Hydrogéophysique et Alimentation en eau potable ; cas de Manakara et d'Ambovombe-Androy ; DEA en Géophysique Appliquée, Université d'Antananarivo.

[21] **RASOLONDRALIBE A. N.**, 2005. Délimitation de l'invasion d'eau salée marine dans le système aquifère du littoral extrême sud de Madagascar, en utilisant les techniques de prospection électrique et électromagnétique ; DEA en géophysique appliquée.

[22] **RAZAFINDRAKOTO B. G.**, 2006. Réalisation de douze profils verticaux et installation des trois stations d'observation continue de la variation de conductivité électrique Zone d'Ambovombe, Rapport de la société SGDM

[23] **S.G.D.M.**, 2005. Etude sur l'approvisionnement en eau potable, autonome et durable dans la région Sud de Madagascar. Volet géophysique Prospection Electrique Verticale, Rapport final.

<http://arnaud.knippel.free.fr/memiie.pdf> .Consulté le 08- 05- 2008

<http://arnaud.knippel.free.fr/memiie.pdf> . Consulté le 08- 05- 2008

<http://echo.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html> . Consulté le 08- 05- 2008

http://fr.wikipedia.org/wiki/Synth%C3%A8se_d'image_3 . Consulté le 28- 05- 2008

http://pastel.paristech.org/1971/01/These_DELENNE.pdf . Consulté le 17- 05- 2008

<http://www.cours.polymtl.ca/glq3202/Electrique/node90.html> . Consulté le 08- 05- 2008

<http://www.mediaterre.org> . Consulté le 08- 05- 2008 Consulté le 08- 05- 2008

http://www.snu.mg/new/sites/pnud/article.php?article_id=308&lang=fr . Consulté le 10-05- 2008

http://www.snu.mg/new/sites/pnud/article.php?article_id=348&lang=fr .Consulté le 07- 06 2008

http://www.unicef.org/french/infobycountry/madagascar_39632.html. Consulté le 25- 09- 2008

<http://www.wgeosoft.ch/Acquisition/Electricity/Methodes-electriques.pdf>. Consulté le 08- 08- 2008

www.crim.ca/fr/r-d/vision_imagerie/documents/tidinner_beaulieu_271101.pdf. Consulté le 08- 07- 2008

[www.crim.ca/fr/rd/vision_imagerie/documents/tidinner_beaulieu_271101.pdf\(processus/eau/actu,20070326105506,12.html](http://www.crim.ca/fr/rd/vision_imagerie/documents/tidinner_beaulieu_271101.pdf(processus/eau/actu,20070326105506,12.html). Consulté le 15- 05- 2008

www.labos.upmc.fr/sisyphe/dga/doctorants/a_mojica/these-alexis-mojica.pdf. Consulté le 02- 07- 2008

TABLE DES MATIÈRES

Liste des abréviations.....	IV
-----------------------------	----

CNRE : Centre National de Recherche sur l'Environnement.....	V
ESPA : Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.....	V
RU : Réserve Utilisable.....	V
Liste des figures.....	V
Liste des tableaux.....	VII
Introduction.....	1
Partie I : Contexte général de la zone d'étude.....	3
I-1 : Contexte général de la zone d'étude.....	4
1-1- Localisation géographique	4
1-2- Contexte géologique.....	5
1-2-1- Le socle cristallin.....	5
1-2-2- Le massif volcanique de l'Androy.....	6
1-2-3- Les formations sédimentaires.....	6
1-3- Contexte géomorphologique.....	7
1-4- Contexte climatique de la zone d'étude.....	9
1-4-1- Précipitations.....	9
1-4-2- Température.....	10
1-4-3- Bilan hydrique.....	11
1-5- Aperçu hydrogéologique.....	12
13	
1-6- Réseau hydrographique.....	13
I-2- Aperçu socio-économique de la région d'étude.....	14
Partie II : METHODOLOGIE.....	17
II-1 : les Systèmes aquifères	18
1-1- Généralité.....	18
1-2- Facteurs d'existantes d'une nappe.....	18
1-3- Types de nappes.....	18
1-3-1- Nappe libre.....	18
1- 3- 2- Nappe captive.....	19
1- 3-3- Aquifère à nappe semi-captive.....	20
II-2 : La télédétection.....	20
2-1- Processus de télédétection.....	21
2-2- Télédétection appliquée en hydrogéologie.....	22

II-3 : Prospection géophysique	22
3-1- Résistivité électrique.....	23
3-2- Facteurs influençant la résistivité électrique.....	23
3-3- Méthodes électriques.....	24
3-3-1- Généralité.....	24
3-3-2- Mise en œuvre.....	25
Partie Iii : Synthèse d'image 3D et logiciel RockWorks2006	30
III- 1 : Historique.....	31
III-2 : Généralités.....	31
III-3 : Techniques.....	31
3-1- Modélisation.....	32
3-1-1- Type de modélisation.....	32
3-1-2- Logiciel de modélisation.....	32
III-4 : Logiciel RockWorks2006.....	33
4-1- Introduction.....	33
4-2- Borehole Manager.....	33
4-3- Création d'un nouveau projet	34
4-4- Dimensions du projet	34
4-5- Fenêtre d'exposition des résultats.....	35
4-6- Présentation des données dans RockWorks2006.....	36
4-6-1- Données de localisation	36
4-6-2- Données de P-data (données de sondage).....	36
4-6-3- Données de stratigraphie.....	36
4-6- Model solide ou P-data	37
4-7- Modèle stratigraphique.....	37
Partie IV : Présentation des données et interprétation	39
IV-1 : Travaux antérieurs.....	40
IV-2: BD 500 de la FTM.....	41
IV-3 : Image satellitaire.....	41
IV-4 : Données géophysiques.....	41
IV-5 : Analyse par image satellitaire.....	42
IV-6: Modélisation Hydrogéophysique par Rockworks2006.....	46

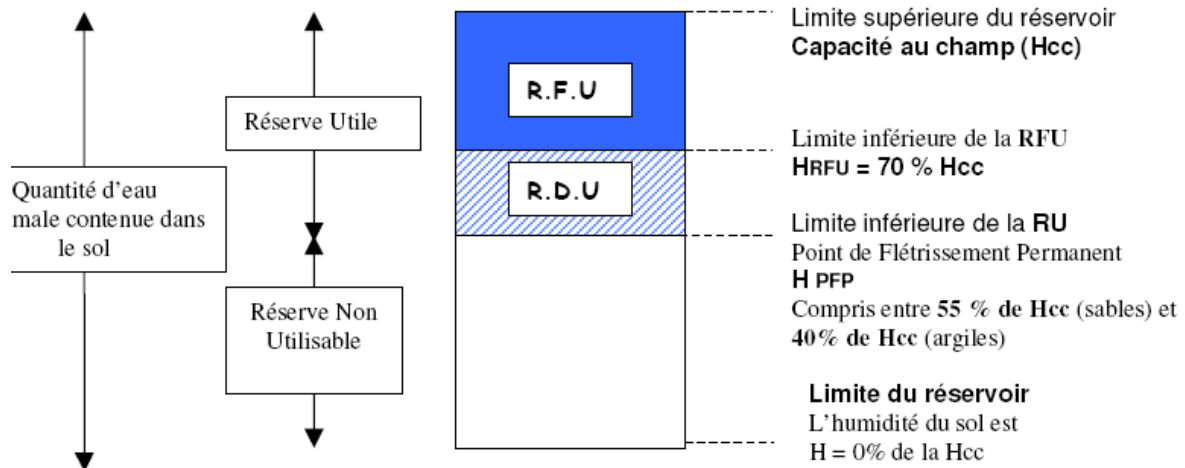
<u>6-1- Préparation des données.....</u>	<u>46</u>
<u>6-2- Modèles solides (ou modèle de P-data)</u>	<u>48</u>
<u>6-3- Coupe du modèle stratigraphique sans lissage</u>	<u>52</u>
<u>6-4- Coupe du modèle stratigraphique avec lissage</u>	<u>53</u>
<u>Conclusion</u>	<u>55</u>
<u>_____</u>	<u>56</u>
<u>RESUME</u>	<u>69</u>
<u>Nombre de pages.....</u>	<u>69</u>
<u>56 _____</u>	<u>69</u>
<u>Figures</u>	<u>69</u>
<u>31 _____</u>	<u>69</u>
<u>Tableaux</u>	<u>69</u>
<u>5 _____</u>	<u>69</u>
<u>Encadreur</u>	<u>69</u>
<u>Impétrant</u>	<u>69</u>
<u>Dr RAZAFINDRAKOTO boni Gauthier.....</u>	<u>69</u>
<u>Tél : 0331436424.....</u>	<u>69</u>

ANNEXES

Annexe1 : Principe du Bilan Hydrique

Le principe du bilan hydrique est de considérer le sol comme un réservoir d'eau.

Il consiste à estimer par le calcul, l'état de cette réserve en tenant compte de la quantité d'eau consommée par la culture et les apports des précipitations ou des irrigations.



Lorsque la RFU (Réserve Facilement Utilisable) est consommée, la plante réduit son activité, sa croissance est plus lente, on parle de stress hydrique. Selon le stade de culture, ce stress hydrique peut avoir ou non des conséquences sur le rendement.

Vous pouvez choisir selon votre disponibilité en temps, matériel ou ressource en eau ou de piloter l'irrigation en vous basant soit sur la RFU (vous vous assurez d'éviter tout stress hydrique), soit sur la RU ce qui vous imposera moins d'apport mais avec un rendement qui peut être affecté.

(R.D.U. = Réserve Difficilement Utilisable)

Pour réaliser votre bilan hydrique vous devez connaître :

- La réserve en eau de vos sols
- La pluviométrie

Les pluies inférieures à 5 mm ne doivent pas être prises en compte.

- La consommation de votre culture

Annexe2 : Rappel des principales valeurs de RU

type de	sol RU (mm/cm)	RFU (mm/cm)
sable	0,7	0,5
Sable limoneux	1	0,7
Sable argileux	1,4	0,9
Limon léger sableux	1,7	1,1
Limon sableux	1,55	1
Limon moyen sableux	1,65	1,1
Limon sablo-argileux	1,65	1,1
Limon-argilo-sableux	1,8	1,2
Limon léger	1,4	0,9
Limon moyen	1,8	1,2
Limon argileux	2	1,3
Argilo-sableuse	1,7	1,1
argile	1,85	0,9
Argile limoneuse	1,9	1
Argile lourde	1,7	0,8

Annexe3 : Caractéristiques des canaux LANDSAT

Bande	Longueur (µm)	Couleur	Pixel de résolution
TM1	0,45 – 0,515	Bleu	30 mètres
TM2	0,52 – 0,60	Vert	30 mètres
TM3	0,63 – 0,69	Rouge	30 mètres
TM4	0,76 – 0,90	Proche-infrarouge	30 mètres
TM5	1,55 – 1,75	Moyen-infrarouge	30 mètres
TM7	2,09 – 2,35	Moyen-infrarouge	30 mètres
TM6	10,40 – 12,5	Infrarouge thermique	60 mètres
TM8	0,52 - 0,90	Panchromatique	15 mètres

**MODELISATION HYDROGEOPHYSIQUE EN 3D DU SOUS-SOL DE LA REGION
DE L'ANDROY**

RESUME

La région de l'Androy est constituée par le socle cristallin précambrien et par des formations sédimentaires. Les précipitations sont faibles ce qui explique l'insuffisance d'eau souterraine et une sécheresse aiguë. Cette étude consiste à interpréter les données géophysiques à partir Rockworks2006, un logiciel adapté au traitement des données géologiques et géophysiques. Pour cela, Ce logiciel a permis de modéliser en 3D le sous sol de la région à partir de données de géophysiques. La télédétection a établi la direction majeure de la fracturation NO-SE et NE-SO. Les modélisations ont montré une domination des formations argileuses, principales barrière des eaux souterraines et elles confirment la pauvreté en eau souterraine de la région.

Mots clés : Androy, eau souterraine, Rockworks2006, méthode électrique, Modélisation 3D

ABSTRACT

The region of the Androy is constituted of plinth precambrien crystalline and by the sedimentary formations. Precipitations are weak that explains the underground water insufficiency and the sharp drought. This study is to interpret the geophysical data from Rockworks2006, software adapted to the treatment of geological and geophysical data. For it, this software permitted to modem in 3D the under soil of the region from data geophysics. The teledetection established the major direction of the fracture NW-SE and NE-SW. The models showed a domination of clay formations, the main barrier of groundwater and they confirm the lack of water supplies in the region.

Key words: Androy, underground water, Rockworks2006, electric method, 3D modeling

Nombre de pages 56

Figures 31

Tableaux 5

Encadreur

Dr RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier

Impétrant

MOHAMED DJOUNEID Madihali

Tél : 0331436424