

## SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ACRONYMES

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE I: GENERALITE SUR LA ZONE D'ETUDE

I.1 Cadre géographique

I.2 Contexte géologique

I.3 Situation géomorphologique

I.4 Réseau hydrographique

I.5 Aperçues hydrogéologiques

I.6 Données climatiques

I.6.1 Précipitation

I.6.2 Températures

I.6.3 Evaporation

I.6.4 Diagramme ombrothermique

I.6.5 Bilan hydrique

PARTIE II : THEORIE DE LA NAPPE SOUTERRAINE ET METHODOLOGIES

II.1 LA NAPPE SOUTERRAINE

II.1.1 Condition d'existence des nappes

II.1.1.1 Processus général

II.1.1.2 Facteur d'existence d'une nappe

II.1.1.2.1 Cas d'une alimentation et d'une lithologie favorables

II.1.1.2.2 Cas d'une lithologie et d'une structure favorables

II.1.1.2.3 Cas d'une alimentation et d'une structure favorables

II.1.2 Alimentation

II.1.3 Exutoires

II.1.4 Nappe libre

II.1.4.1 Nappes perchées ou non soutenues

II.1.4.2 Nappes soutenues

II.1.5 Nappe captive

II.1.6 Aquifère à nappe semi-captive

II.2 LA PHOTO INTERPRETATION

II.2.1 Les types de Photo Aérienne

II.2.2 Les qualités des PA

II.2.3 La prise de vue (PV)

II.2.3.1 Echelle (E)

II.2.3.2 Format

II.2.3.3 La focale

II.2.4 Vision stéréoscopique

II.2.4.1 La vision binoculaire normale

II.2.4.2 La vision stéréoscopique

II.2.4.3 Les différents types de stéréoscopes

II.2.4.4 Mise en plan des P.A

II.2.4.5 Les objets observés sur une photographie aérienne

II.2.4.6 Ce qu'on peut tirer des P. A.

II.3 METHODE DE PROSPECTION ELECTRIQUE

II.3.1 IMAGERIE PAR TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE

II.3.1.1 Acquisition des données

II.3.1.2 Traitement et interprétation des données

II.3.2 DISPOSITIF WENNER

II.3.3 APPAREILS DE MESURE

PARTIE III : INTERPRETATION DES RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1 INTERPRETATION DE LA PHOTO AERIENNE

III.2 INTERPRETATION DES RESULTATS DU PANNEAUX ELECTRIQUES

CONCLUSION

ANNEXES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

TABLE DES MATIERES

---

## LISTE DES FIGURES

- Figure I.1 : Carte de localisation du site
- Figure I.2 : Carte géologique de Ambohimanga – Ambatomena
- Figure I.3 : Carte hydrographique de la zone d'étude
- Figure I.4 : Variations mensuelles de la précipitation pour les stations Ambohimanga et Antananarivo
- Figure I.5 : Variation des températures mensuelles maximales et minimales
- Figure I.6 : Variation mensuelle de l'évaporation pour la station d'Antananarivo
- Figure I.7 : Variation mensuelle de l'évaporation et de la précipitation pour la station d'Antananarivo
- Figure I.8 : Courbe ombrothermique de la station d'Antananarivo
- Figure II.1.1 : Nappes d'alluvions
- Figure II.1.2 : Nappe captive (a) et nappe libre (b)
- Figure II.1.3 : Aquifère à nappe- semi captive
- Figure II.2.1 : Prise des mesures de la photo aérienne
- Figure II.2.2 : Mode d'opération des photos aériennes
- Figure II.3.1 : Dispositif de mesure
- Figure II.3.2 : Principe de construction d'une pseudo-section
- Figure II.3.3 : Profil en géophysique en résistivité apparente
- Figure II.3.4 : Profil en géophysique recalculée par le logiciel d'inversion
- Figure II.3.5 : Profil géophysique en résistivité vraie
- Figure II.3.6 : Dispositif Wenner
- Figure III.1.1 : Disposition du linéament dans la vallée Ouest
- Figure III.1.2 : Disposition des profils géoélectriques par rapport aux linéaments observés
- Figure III.1.3 : Carte des linéaments, résultat d'analyse de photographie aérienne
- Figure III.2.1 : Plan de masse du site d'Tsarahonenana
- Figure III.2.2 : Coupe géoélectrique du profil 1a
- Figure III.2.3 : Coupe géoélectrique du profil 2a en 2D
- Figure III.2.4 : Coupe géoélectrique du profil 3a en 2D
- Figure III.2.5w : Coupe géoélectrique du profil 4a en Wenner
- Figure III.2.5d : Coupe géoélectrique du profil 4a en Dipôle
- Figure III.2.6 : Coupe géoélectrique du profil 5a en 2D
- Figure III.2.7 : Coupe géoélectrique du profil 6a en 2D
- Figure III.2.8 : Coupe géoélectrique du profil 7a en 2D

- Figure III.2.9 : Coupe géoélectrique du profil 1b en 2D
- Figure III.2.10 : Coupe géoélectrique du profil 2b en 2D
- Figure III.2.11 : Coupe géoélectrique du profil 3b en 2D
- Figure III.2.12 : Coupe géoélectrique du profil 4b en 2D
- Figure III.2.13 : Coupe géoélectrique du profil 5b en 2D
- Figure A3.1 : Nappe horizontale avec deux sources de déversement
- Figure A3.2 : Nappe inclinée avec une source de déversement
- Figure A3.3: Nappe de débordement en tête de nappe captive
- Figure A3.4 : Nappe de débordement par faille
- Figure A3.5 : Nappe de trop-plein en tête de nappe captive
- Figure A3.6 : Double nappe de trop-plein
- Figure A3.7 : Nappe de déversement et nappe de trop-pleins joints

## LISTE DES PHOTOS

Photo II.2.1 : Les stéréoscopes

Photo II.2.2 : Un observateur de la photo aérienne

Photo II.3.1 : Matériel de prospection électrique en panneau électrique

Photo III.2.1 : Profil du panneau 1b

Photo III.2.2 : Profil du panneau 2b

Photo III.2.3 : Disposition des boules de roches par rapport à la source

Photo III.2.4 : Profil du panneau 3b

Photo III.2.5 : Profil du panneau 5b

## LISTE DES TABLEAUX

Bilan hydrique

## LISTE DES ACRONYMES

BD : Bases de Données

ET : Evapotranspiration

ETP : Evapotranspiration potentielle

ETR : Evapotranspiration Réelle

ITE : Imagerie par Tomographie Electrique

IOGA : Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo

MSTGA : Maîtrise des Sciences et Techniques en Géophysique Appliquée

P : Précipitation

PA : Photographie Aérienne

PS : Polarisation spontanée

PV : Prise de Vue

RFU : Réserve Facilement Utilisable

RN : Route Nationale

SGDM : Société Géosciences pour le Développement de Madagascar

T : Température

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Formule du bilan Hydrique

Annexe 2 : La loi d'Ohm

Annexe 3 : Les sources

**Rapport-Gratuit.com**

## INTRODUCTION GENERALE

Une part importante de l'activité économique dépend de façon significative de la valorisation des ressources du sous-sol terrestre et en particulier l'eau souterraine. Il est dès lors impératif de pouvoir identifier et localiser ces différentes ressources. Les méthodes géophysiques constituent des outils performants pour acquérir d'une façon indirecte les différentes informations sur la nature géologique d'un site d'étude des gisements d'eau minérale.

La Société Géosciences pour le Développement de Madagascar (SGDM) a entrepris des travaux d'étude hydrogéologique et de prospection géophysique dans une propriété privée, située dans un Fokontany au Nord de la capitale de la Grande île, près de la RN3.

Après l'étude qu'il a réalisée sur le lieu au mois de Septembre 2006, les résultats restent encore insuffisants. Cette fois-ci, pour les approfondir, une nouvelle recherche a été lancée pour localiser des points susceptibles de trouver la zone d'accumulation d'eau importante. On utilise l'outil géophysique, en particulier, la prospection électrique.

Autrement dit, le but de ce travail est de trouver, des points sur la zone où on peut extraire le maximum débit d'eau souterraine pour satisfaire le besoin journalier d'un site particulier sise à Tsarahonenana, il est estimé à  $100\text{m}^3/\text{jours}$ .

On doit cibler, sur ce cas, la fracture majeure dans la roche sous la couverture latéritique qui est relativement épaisse. On a mis en œuvre pour celle-ci les deux dispositifs électriques, Wenner et Dipôle-dipôle.

La campagne de prospection s'était déroulée entre le 11 et le 15 Septembre 2007 et entre le 5 et le 7 Décembre 2007.

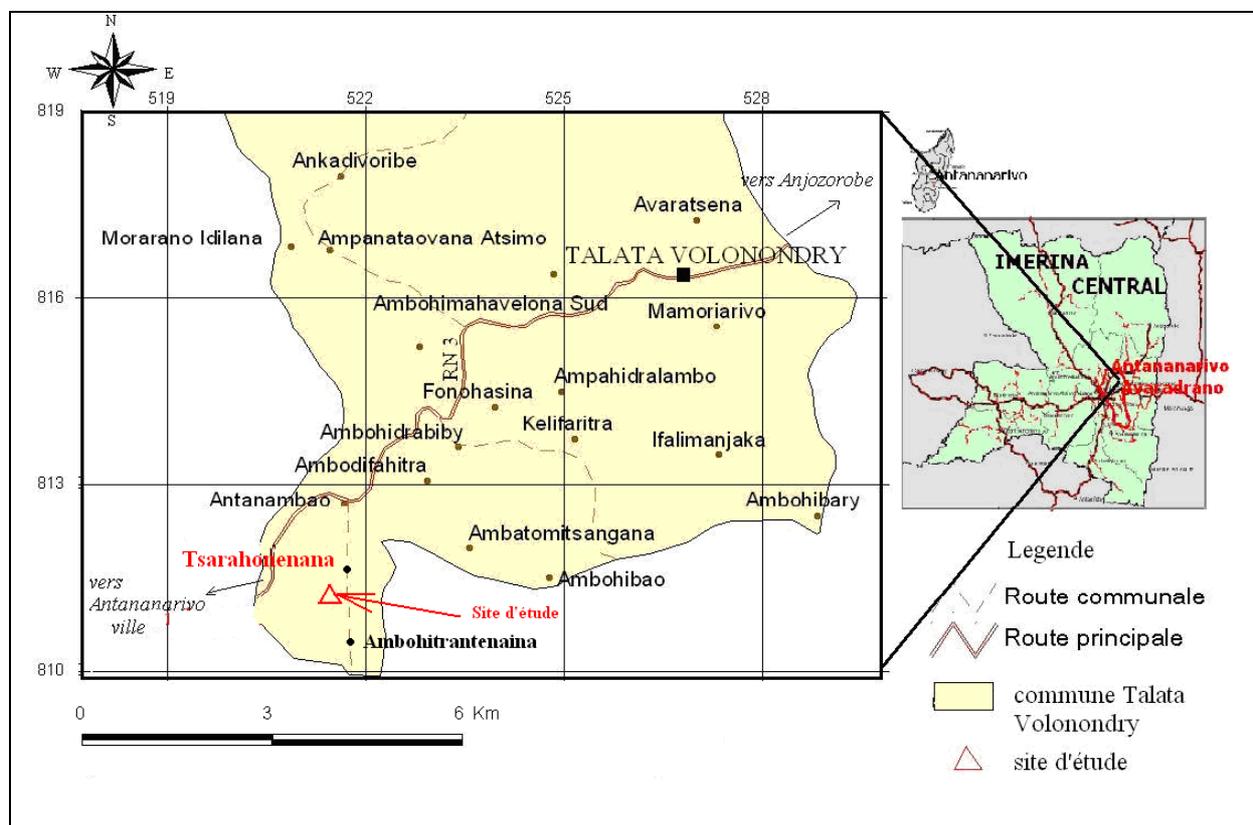
Le présent mémoire comporte quatre grandes parties, la première partie concerne à décrire le contexte général de la zone d'étude. Ensuite, dans la deuxième, nous allons parler ce que l'on appelle la nappe d'eau souterraine. En troisième partie, on définit les différentes méthodes appliquées à la recherche d'eau souterraine, en particulier, la photo-interprétation et la méthode de prospection électrique. Et on termine ce travail par l'analyse et interprétation des photo-aériennes qui situe la zone d'étude, et de présenter les résultats des campagnes géophysiques afin de conclure la situation hydrogéologique du site d'étude.

**PARTIE I**  
**GENERALITE SUR LA ZONE D'ETUDE**

## I.1 Cadre géographique

La zone d'étude (figure I.1) se trouve environ à 17km, au Nord d'Antananarivo. Elle occupe une superficie d'environ 15ha et se trouve géographiquement à la latitude Sud  $18^{\circ}47'38''$  ( $N811350.47$ ) et à la longitude Est  $47^{\circ}35'11''$  ( $E521095$ ) dans le fokontany de Tsarahonenana.

Tsarahonenana appartient administrativement à la commune rurale de Talata Volonondry dans le district d'Antananarivo Avaradrano et de la région d'Analamanga, province autonome d'Antananarivo.



Source : extrait de BD 500 FTM

Figure I.1 : Carte de localisation du site

## **I.2. Contexte géologique**

Madagascar est constituée pour les 2/3 de sa superficie par des roches magmatiques et métamorphiques précambriens constituant le socle cristallin (hautes plateaux) et, pour le tiers restant par des roches sédimentaires.

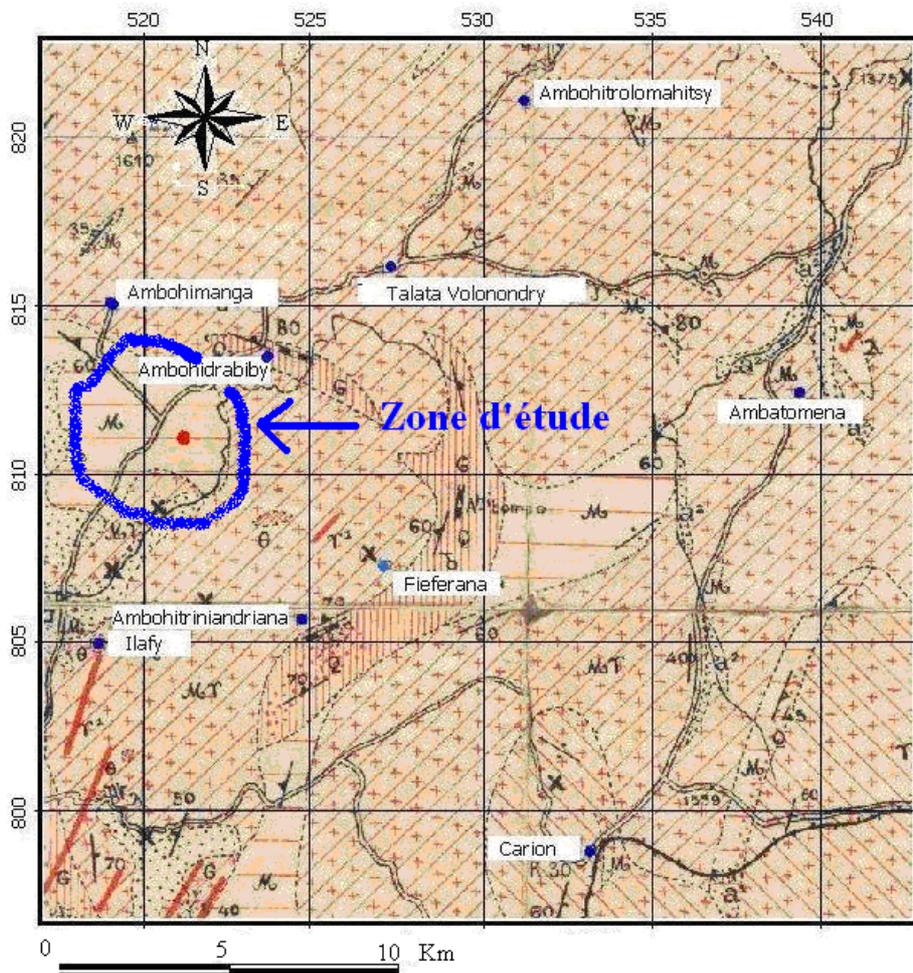
- La zone d'étude est constituée essentiellement des roches métamorphiques. On rencontre par endroit des lentilles de gneiss affleurant sur le versant de la colline.
- Les formations gneisso-migmatitiques plus ou moins altérées affleurent dans les vallées d'érosion inter-collinaires qui sont transformées en rizières.
- La formation rocheuse imperméable constitue le mur de l'aquifère. Ainsi nous devons détecter les fracturations pour avoir un débit meilleur.
- Les latérites qui sont relativement épaisses ne peuvent pas fournir le débit plus de  $3\text{m}^3/\text{h}$  même si elles sont saturées ; ceci à cause de sa mauvaise perméabilité.

## **I.3 Situation géomorphologique**

La zone d'étude se trouve sur les Hautes Terres de Madagascar. Elle est caractérisée par un réseau très dense de bas-fond et de plaines alluviales, emboîté dans les interfluves. Ces derniers sont dominés par des reliefs où le socle affleure de façon discontinue. En effet, le domaine est limité, à l'Ouest par un bas-fond principal ; au Sud et au Nord par deux bas-fonds adjacents beaucoup plus étroits que le bas-fond principal.

En général, les plaines alluviales reposent sur le socle granito-gneissique souvent altéré, qui émerge par endroits pour former de petites collines bien individualisées.

En dehors de la plaine alluviale, le relief très vallonné rend compte du processus de pénéplanation du socle. Dans les interfluves, l'essentiel des terrains en affleurement sont des produits d'altération de ce socle alors que dans les bas-fonds se sont déposés les alluvions et les colluvions.



**Legende**

**FORMATION SUPERFICIELLES**

- Alluvions récentes
- Alluvions anciennes argileuses
- Cuirasse latéritiques
- Alluvions sableuses

**ROCHES VOLCANIQUES PLIO-PLÉISTOCÈNE**

- Ankaratrites - basaltes
- Zone à cendres et projections volcaniques

**ROCHES ERUPTIVES (Série jeune)**

- Filon à faciès dibasique
- Filon non relevé

**ROCHES ERUPTIVES ET DE GRANITISATION (série ancienne)**

- Pegmatites potassiques
- Granite monzonitique type Ambatomiranty
- Granite hyperalkalin
- Granite batholitique microclinique de Behenjy
- Granite monzonitique parphyroïde type Carlon
- Migmatites granitoïdes et granite migmatique associés
- Facies malgachitique
- Facies porphyroïde
- Serpentine
- Gabbros, Orthoamphibolites, Orthopyroxénites

**SCHISTES CRISTALLINS (Précambrien)**

Schistes non migmatitiques

- Série à amphibole
- Série du graphite
- Quartzite
- Zone d'étude
- Gneiss à graphite
- Gneiss à sillimanite
- Gneiss à grenat
- Gneiss à pyroxène
- Cipolin
- Quartzite à magnetite
- Amphibolite

Migmatites

- Migmatites schisteuses à biotite, amphibole, parfois associées à des gneiss
- Migmatites ocellées

Source : Service de la Géologie d' Ampandrianomby

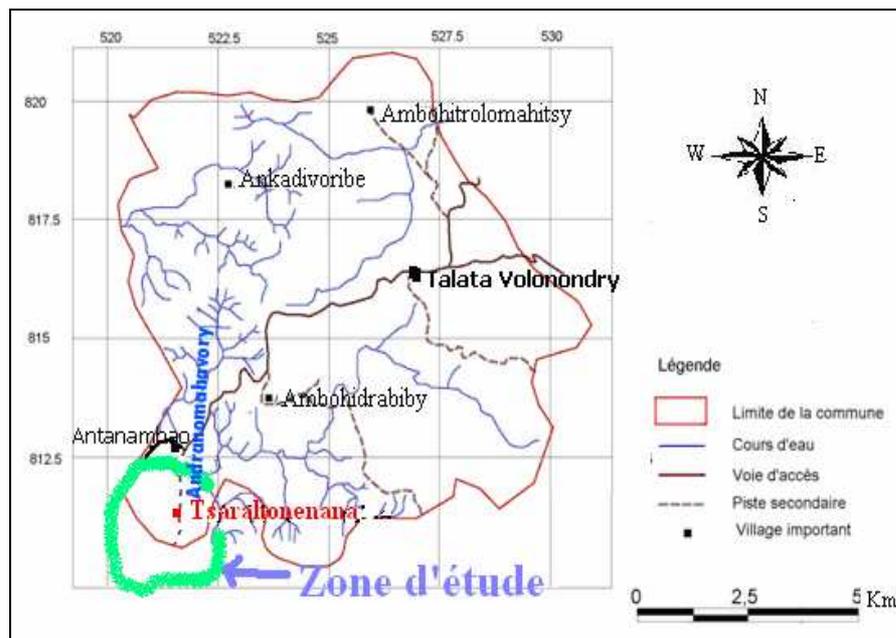
Figure I.2 : Carte géologique d' Ambohimanga – Ambatomena

## I.4 Réseau hydrographique

La commune de Talata Volonondry est traversée par de nombreuses rivières et cours d'eau. L'existence de nombreux points d'eau regorgeant une multitude de richesses constitue un atout majeur pour assurer un développement certain dans cette localité. Ses rivières, marécages et étangs grouillent non seulement des produits d'eaux douces (poissons, anguilles et autres...), mais des bordures constituant un terrain favorable à certaines plantes notamment la canne à sucre et le bambou.

La zone d'étude ne se situe pas auprès des grandes rivières de la région mais elle est traversée par un nombre important de cours d'eau.

La rivière d'Andranomahavory passe à l'Est de la zone et cette rivière est versée vers l'Ikopa



Source : BD 500 FTM

*Figure I.3 : Carte hydrographique de la zone d'étude*

## I.5 Aperçus hydrogéologiques

Les arènes qui surmontent partout le socle, sont composées d'une matière argilo-sableuse riche en micas, feldspaths kaolinisés et ferromagnésiens. Il n'est pas rare que le toit de ce niveau soit argilifié. Ce niveau aquifère abrite une nappe qui est au minimum semi-captive sous le niveau argilifié aux interfluviaux; et le plus souvent captive aux bas-fonds et à la plaine alluviale, sous le remplissage quaternaire. Les aquifères des Hautes Terres en zone de socle cristallin de Madagascar sont constitués de nappe d'arène, de la nappe du socle fracturé.

Ce dernier donne le débit d'exploitation intéressant, supérieur à  $3\text{m}^3/\text{h}$ , dans les fractures de roches sous la couverture latéritique.

Les nappes des alluvions intercollinaires sont rencontrées en outre dans les bas-fonds. Le débit d'exploitation de ces nappes est relativement limité.

Le premier forage réalisé sur le site a donné de débit inférieur à  $1\text{m}^3/\text{h}$ , ce qui montre la caractéristique à faible perméabilité d'arène.

La visite faite sur les puits entourant la zone d'étude a révélé que leur abaissement est important pendant le puisage.

## **I.6 Données climatiques**

Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques caractérisant un espace ou une région.

La zone d'étude se trouve au Nord d'Antananarivo. Son climat est celui des Hautes Terres. Avec une altitude moyenne de 1 200m à 1 500m. Ces Hautes Terres connaissent un climat tropical d'altitude caractérisé par des températures allant de  $0^\circ\text{C}$  en hiver jusqu'à  $25^\circ\text{C}$  en été, et des précipitations moyennes de 1357mm. Les données climatiques proviennent de la direction générale de la météorologie. Elles sont relevées à partir des mesures effectuées aux deux stations météorologiques :

- **La station d'Antananarivo**

Cette station est située à Ampandrianomby. Les données disponibles sont les moyennes de précipitations mensuelles sur une période allant de 1961 à 1990. Elle a pour coordonnées géographiques, la latitude  $E47^\circ32'$  et la longitude  $S18^\circ54'$  avec une altitude de 1310m.

- **La station d'Ambohimanga**

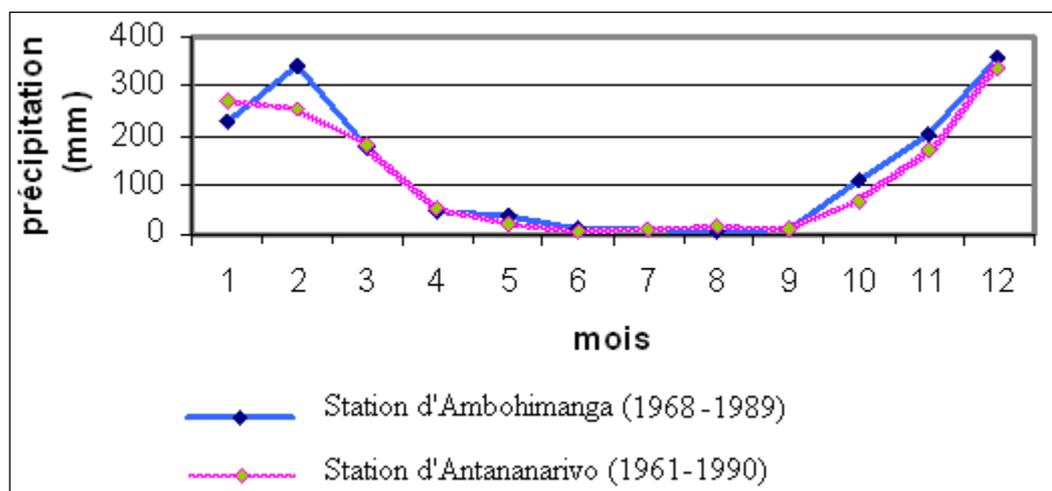
La station se trouve à Ambohimanga. Elle a pour coordonnées géographiques, la latitude  $S18^\circ46'$  et la longitude  $E47^\circ34'$  avec une altitude de 1450m. Les données disponibles sont les moyennes normales des précipitations mensuelles sur une période allant de 1968 à 1989.

### I.6.1 Précipitation

Toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) et sous forme solide (grésil, grêle) sont dénommées « précipitation ».

Les Hautes Terres de Madagascar peuvent être subdivisées en deux zones, l'une à pluviométrie annuelle inférieure à 800mm au Sud et l'autre supérieure à 800mm.

La région d'Antananarivo possède une pluviométrie moyenne annuelle entre 1050mm et 1525mm avec 5 mois secs ( $P < 20\text{mm}$ ) du Mai au Septembre. 95% des pluies sont tombées en Décembre et Janvier contre 0,05% pendant l'hiver.



*Figure I.4: Variations mensuelles de la précipitation pour les stations Ambohimanga et Antananarivo*

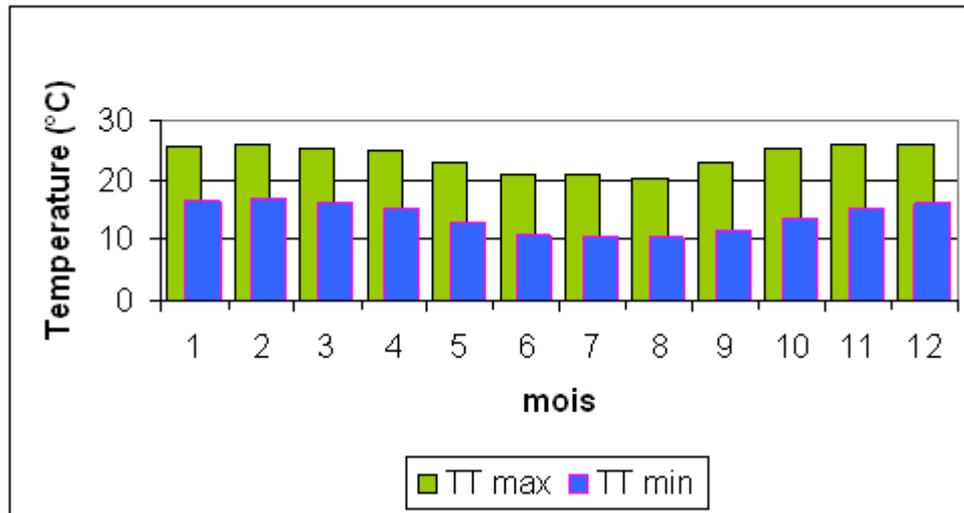
Cette courbe confirme ce que nous avons annoncé précédemment sur la succession des deux saisons.

Pendant la saison humide, les précipitations sont maximales et pourront atteindre 360mm en Décembre. La saison sèche (Juin à Septembre), les pluviométries sont faibles et ne pourront atteindre que 7mm en Juillet.

En outre, les deux courbes de variations mensuelles de la précipitation des deux stations se ressemblent. L'allure des courbes de précipitations est la même pour les deux stations. Cela s'explique par les hauteurs mensuelles homogènes des pluies à l'intérieur du bassin étudié. Ainsi, la condition d'alimentation de la nappe par infiltration directe des eaux de pluie est la même dans la zone d'étude. En effet, la période où les pluies alimentent directement les aquifères sont les mêmes dans toutes les régions.

### I.6.2 Température

Elle décroît une fois que l'on pénètre vers les zones d'altitude. En effet, la température annuelle moyenne varie de 15° à 23°C. Les zones de basses pressions intertropicales et la cellule océanique de hautes pressions jouent un rôle important dans l'alternance de la saison chaude et la fraîche, ainsi que les vents dominants : Moussons et alizés.



*Figure I.5 : Variation des températures mensuelles maximales et minimales*

En effet, les températures mensuelles varient de 10,3°C en Juillet à 25,8°C en Décembre. En se référant de la figure I.4 et de la figure I.5, on constate que les mois les plus chauds sont les mois les plus pluvieux.

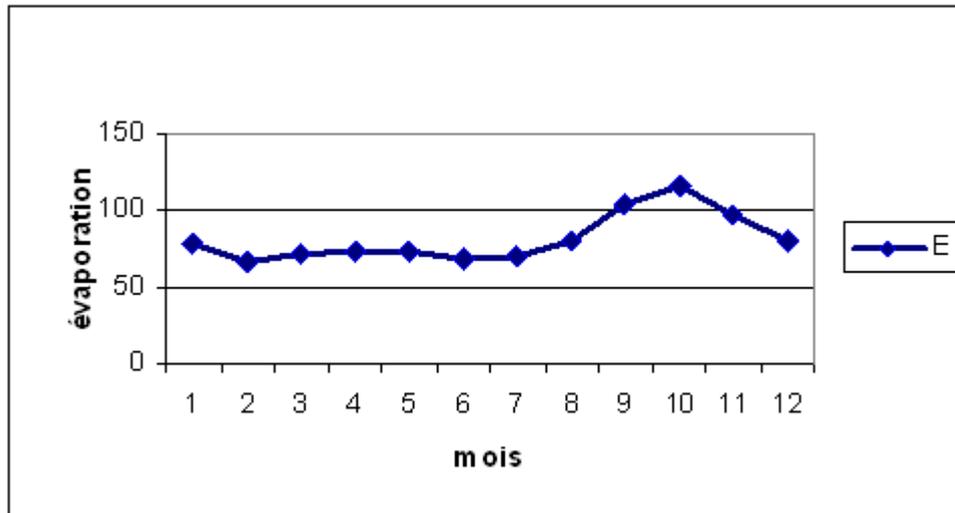
On constate aussi que les écarts de température mensuelle entre le maximum et le minimum sont considérables. Ces grands écarts vont favoriser l'évaporation.

### I.6.3 Evaporation

L'évaporation est une des composantes fondamentales du cycle de l'eau. Elle se définit comme étant le passage de la phase liquide à la phase vapeur. L'évapotranspiration englobe l'évaporation et la transpiration des plantes. L'évapotranspiration de référence ( $ET_0$ ) ou l'évapotranspiration potentielle (ETP) comprend l'évaporation et la transpiration des couvertures végétales pendant le temps considéré pour un terrain donné.

L'ETP calculée selon Thornthwaite est de l'ordre de 1000mm. Les conditions climatiques sont favorables pour la recharge des nappes aquifères acquise par des infiltrations efficaces en période de crue. Le bilan hydrologique général montre que les rivières drainent

l'eau souterraine pendant la saison sèche au mois d'Octobre ; et inversement, les rivières alimentent le système aquifère pendant la période de pluie.



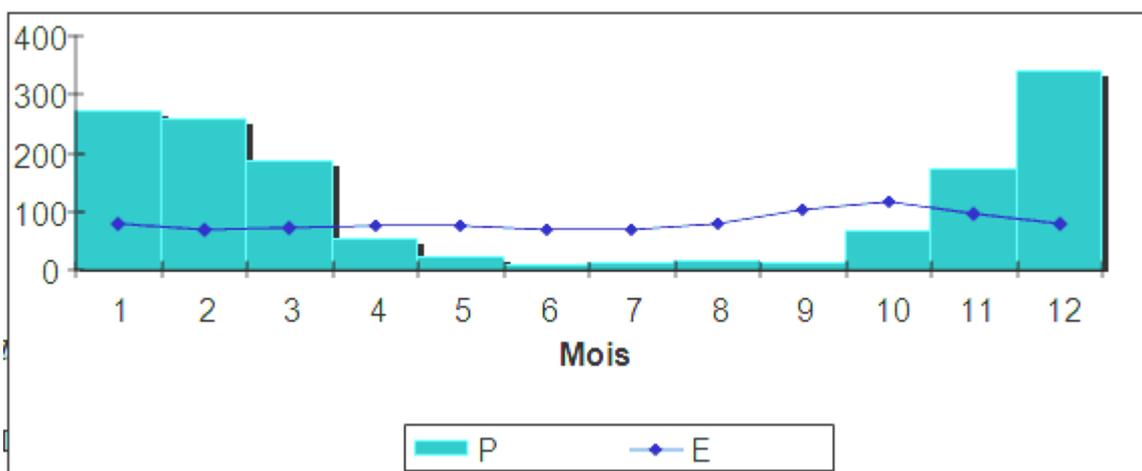
**Figure I.6 : Variation mensuelle de l'évaporation pour la station d'Antananarivo**

Cette figure montre que pendant le mois d'Octobre, les évaporations sont maximales. Elles sont de l'ordre de 116mm. Elles sont minimales en Février et pourront atteindre une valeur égale à 66mm.

Comment peut-on expliquer ce pic au mois d'Octobre alors que ce dernier n'est ni le mois le plus chaud ni le mois le plus pluvieux ?

Ce maximum au mois d'Octobre est dû au grand écart de température pendant ce mois.

La différence de température entre la période à chaleur élevée et à chaleur moins élevée est grande par rapport aux autres mois. Cette différence maximum pendant ce mois explique cette évaporation excessive.



**Figure I.7 : Variation mensuelle de l'évaporation et de la précipitation pour la station d'Antananarivo**

Dans cette figure nous avons représenté les évaporations et les précipitations mensuelles sur une même graphique. Cette figure montre que pendant la saison de pluies la courbe de précipitations passe au-dessus de celle évaporations. On pourrait déduire que pendant cette période l'eau s'infiltrer pour alimenter les aquifères ( $P > E$ )

Pendant la saison sèche, c'est le fait contraire. La courbe d'évaporation passe au-dessus. Cette situation signifie une forte évaporation des eaux retenues dans les réservoirs de surface. (Lacs, rivières...etc.) et à la surface du sol ( $P < E$ ).

En outre, de Novembre à Mars les valeurs pluviales dépassent largement celle de l'évaporation. Ceci signifie que pendant cette période les réserves d'eau se reconstituent.

#### I.6.4 Diagramme ombrothermique

Il permet de présenter, sur un même graphique, les précipitations des 12 mois de l'année et les températures moyennes mensuelles d'un lieu en tenant compte de la règle importante

$P = 2T$  :

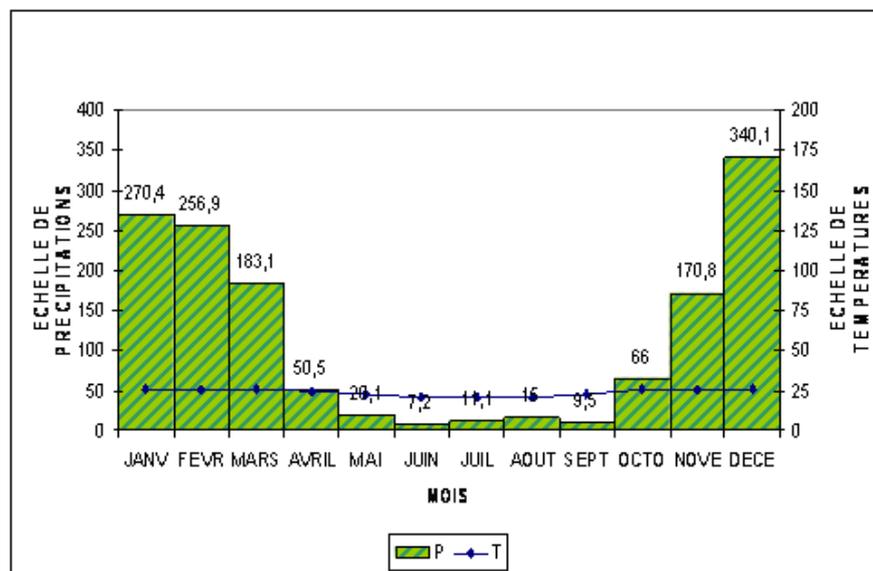


Figure I.8 : Courbe ombrothermique de la station d'Antananarivo

Ce diagramme est composé de deux parties :

- $P > 2T$  signifie que pendant cette période, la réserve d'eau est excédentaire. La précipitation varie entre 270mm jusqu'à 1780mm au mois de Décembre. Cette période correspond à la saison humide (Novembre à Avril).

- $P < 2T$  La capacité de la rétention d'eau du sol est déficitaire. Ce déficit en eau est dû à la saison sèche qui prévaut pendant cette période (du Mai à l'Octobre).

### I.6.5 Bilan hydrique

Il est établi par un lieu et une période donnée par comparaison entre les apports et les pertes en eau. Les apports d'eau sont effectués par les précipitations. Les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et la transpiration des plantes. Les deux grandeurs sont évaluées en quantité d'eau par unité de surface, mais elles sont généralement traduites en hauteur d'eau ; l'unité la plus utilisée étant le millimètre.

Nous avons résumé dans le tableau suivant les données climatiques de la station d'Antananarivo. Ces données sont les valeurs moyennes normales collectées au sein de la Direction générale de la Météorologie.

**Tableau : Bilan hydrique (en mm)**

	Nv	Dc	Jv	Fv	Mr	Av	Me	Jn	Jl	At	Sp	Oc	Total
<b>P</b>	170,8	304,1	270,4	256,9	183,1	50,5	20,1	7,2	11,1	15	9,5	66,6	<b>1365,3</b>
<b>ETP<sub>c</sub></b>	106	109	106	96	97	83	67	54	54	50	71	90	
<b>P-ETP<sub>c</sub></b>	64,8	195,1	164,4	160,9	86,1	- 32,5	- 46,9	- 46,8	- 42,9	-35	- 61,5	- 23,4	
<b>RFU</b>	64,8	100	100	100	100	67,5	20,6	0	0	0	0	0	
<b>ΔS</b>	64,8	30,2	0	0	0	-28	-28	-17	-9	-6	-5	-2	
<b>ETR</b>	106	109	106	96	97	78,5	48,1	24,2	20,1	21	14,5	68,6	<b>789</b>
<b>Ex</b>		164,9	164,4	160,9	86,1	-	-	-	-	-	-	-	<b>576,3</b>

## Bilan

Le bilan hydrique de la station est régit par cette équation (annexe 1)

$$P = I + ETR + R \pm \Delta S$$

Avec :

P, la précipitation ; I, l'infiltration ; ETR, l'évapotranspiration réelle ; R, ruissellement ;  $\Delta S$ , la réserve.

Dans notre cas,  $P = 1365,3\text{mm}$  ;  $I = 95\text{mm}$  ;  $ETR = 789\text{mm}$  ;  $R = 576,3\text{mm}$  et  $\Delta S = -95\text{mm}$ .

Nous constatons que la Réserve Facilement Utilisable (RFU) mensuelle de la région Antananarivo ne dépasse pas 100mm.

Partie II

**THEORIE DE LA NAPPE SOUTERRAINE ET  
METHODOLOGIES**

---

## II.1 LA NAPPE SOUTERRAINE

Une nappe est une accumulation d'eau dans les pores d'un terrain perméable.

### II.1.1 Condition d'existence des nappes

#### II.1.1.1 Processus général

Sous l'effet de la pesanteur, une partie de l'eau de pluie s'infiltré dans le sol, soit directement, soit après circulation à la surface de celui-ci.

Selon la perméabilité des terrains rencontrés, elle descend à une plus ou moins grande profondeur. Cette circulation, approximativement verticale est interrompue en rencontrant un terrain à faible perméabilité par rapport à celle qui la précède.

Sous des terrains perméables, cette formation « imperméable » représente en quelque sorte « le planché du réservoir ». L'eau s'accumule en saturant l'ensemble des vides des terrains sus-jacents plus perméables. Ainsi se constituent dans ces formations relativement perméables appelées aquifères des nappes d'eau souterraine.

Lorsque le « récipient » est saturé, il y a l'écoulement et l'eau est exploitable.

#### II.1.1.2 Facteurs d'existence d'une nappe

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

- facteur lithologique : il doit exister une roche « réservoir » à la fois poreuse et perméable qui constituera le terrain aquifère. Cette roche doit avoir à sa base un mur imperméable pour soutenir la nappe ou plus simplement qui servira de fond « étanche » au réceptacle constitué par le réservoir ;
- facteur d'alimentation : il faut que de l'eau puisse venir remplir les pores de l'aquifère ;
- 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 rencontrés. Les conditions d'alimentation, lithologiques et structurales ne peuvent pas être considérées isolément.

#### **II.1.1.2.1 Cas d'une alimentation et d'une lithologie favorables**

Si l'eau parvient de façon abondante et continue à une constituée par un terrain très perméable d'une part, au mur duquel se trouve un terrain très imperméable d'autre part (conditions d'alimentation et lithologiques excellentes), une accumulation d'eau souterraine pourra se former et persister.

#### **II.1.1.2.2 Cas d'une lithologie et d'une structure favorables :**

Si deux terrains, l'un très perméable et l'autre pratiquement imperméable, sont disposés de telle sorte que la limite de perméabilité forme un creux (conditions lithologique et structurales excellentes), il suffira d'un faible apport d'eau, même temporaire, pour qu'une nappe, même permanente, se forme.

#### **II.1.1.2.3 Cas d'une alimentation et d'une structure favorables :**

Si les apports d'eau sont abondants et continus dans une structure en creux (conditions d'alimentation et de structure excellentes), il suffira d'une faible différence de perméabilité entre deux terrains pour qu'une partie de l'eau soit retenue et s'accumule au-dessus de la limite de perméabilité.

### **II.1.2 Alimentation**

Les nappes peuvent avoir plusieurs modes d'alimentation :

- Par infiltration directe de la pluie lorsque l'aquifère est à l'affleurement,
- Par drainage d'un cours d'eau de surface,
- Par déversement d'une nappe sus-jacente,
- Par infiltration des eaux de surface à travers des terrains semi-perméables lorsque deux nappes ne sont pas en équilibre.

### **II.1.3 Exutoires**

Si on reprend la vision schématiquement du terrain perméable réceptif qui se remplit par alimentation verticale de la pluie, lorsque le réceptif est plein, l'eau s'écoule de ce réceptif, soit à la surface topographique, formant ainsi une source ou une émergence, soit dans un terrain sous-jacent.

On appelle donc exutoires d'une nappe, les points privilégiés où l'eau sort de la nappe. Les exutoires sont de différents types : les sources et les exutoires cachés (annexe 3).

## II.1.4 Nappe libre

On appelle nappe libre, une nappe dont la surface piézométrique se confond avec la surface (ou le toit) de la nappe.

### II.1.4.1 Nappes perchées ou non soutenues

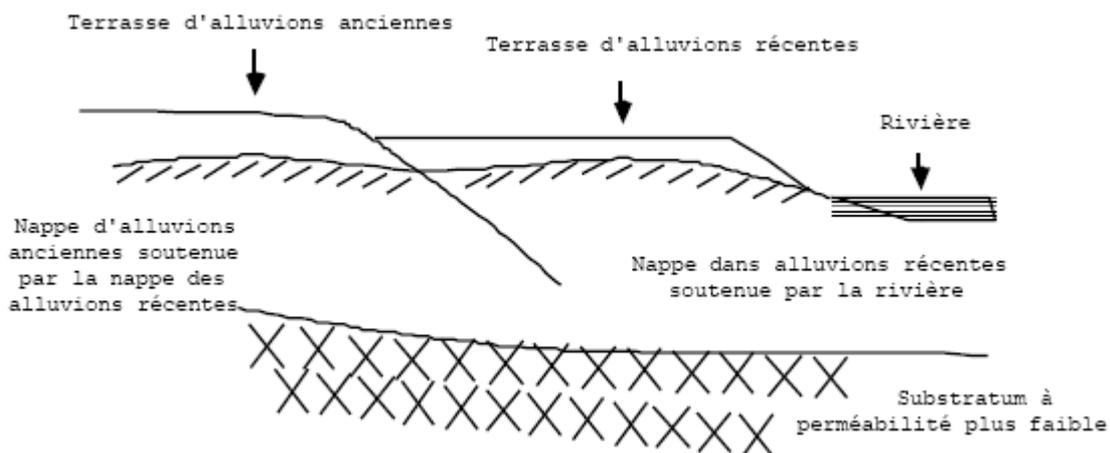
Les nappes s'écoulent au niveau des sources. Elles sont connexes et peuvent engendrer des différents types d'exutoires :

- Source de déversement,
- Source de débordement
- Source de trop plein

### II.1.4.2 Nappes soutenues

La nappe s'écoule dans une autre nappe souterraine, dans un lac, dans une rivière ou dans la mer. Ces nappes peuvent être soit convexes soit concaves.

Exemple :



*Figure II.1.1 : Nappes d'alluvions*

## II.1.5 Nappe captive

On appelle nappe captive, une nappe dont le toit est à un niveau inférieur à la surface piézométrique. Ceci suppose que la couche située au toit de l'aquifère soit « imperméable », mais cette condition n'est pas suffisante. En effet, si le terrain perméable est suffisamment alimenté la nappe est captive ; si cette alimentation est trop faible, elle reste libre.

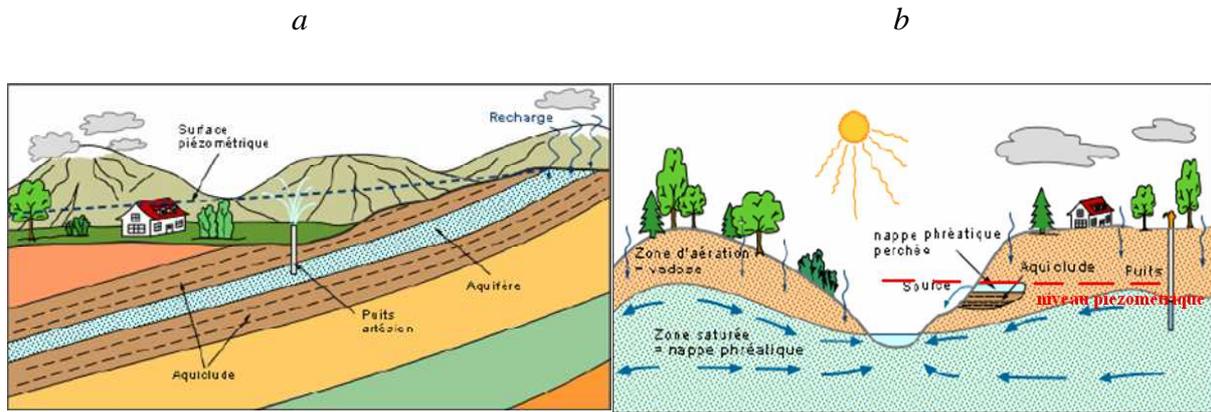


Figure II.1.2: Nappe captive (a) et nappe libre (b)

## II.1.6 Aquifère à nappe semi captive

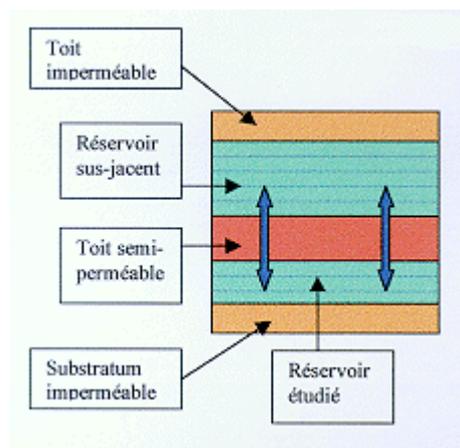


Figure II.1.3 : Aquifère à nappe- semi captive

Cette aquifère repose sur un substratum imperméable et sous un toit 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 superposée ou sous-jacente.

## **II.2 LA PHOTO INTERPRETATION**

### **GENERALITE**

La Photographie Aérienne (PA) désigne toute vue prise depuis un engin se trouvant dans l'atmosphère. Cette vue peut donc être prise sous un angle quelconque. Ainsi, la PA est une perspective oblique de l'objet photographié.

#### **II.2.1 Les types de PA**

- Suivant l'inclinaison de l'axe de prise de vue (PV): vertical, faible oblique (moins 45°, ne montrant pas l'horizon), forte oblique (+45° montrant la ligne d'horizon) ;

- Suivant qu'il s'agit de photographie simple ou composite. Les photos composites sont à première vue semblables aux photos verticales, mais elles sont constituées par l'assemblage des photos obliques prises avec des caméras à plusieurs objectifs.

Ce qui nous intéresse, c'est la PA verticale, c'est-à-dire que l'axe de PV fait avec la verticale un angle inférieur à 10°.

#### **II.2.2 Les qualités des PA**

Les qualités des PA ne dépendent pas seulement du personnel navigant: pilote, photographe, mais aussi de la qualité du matériel utilisé. Les PA doivent:

- couvrir de façon homogène la totalité de la région étudiée,
- permettre des mesures précises de longueur, de surface et de hauteur de façon à permettre l'établissement de cartes topographiques,
- fournir le maximum de renseignements.

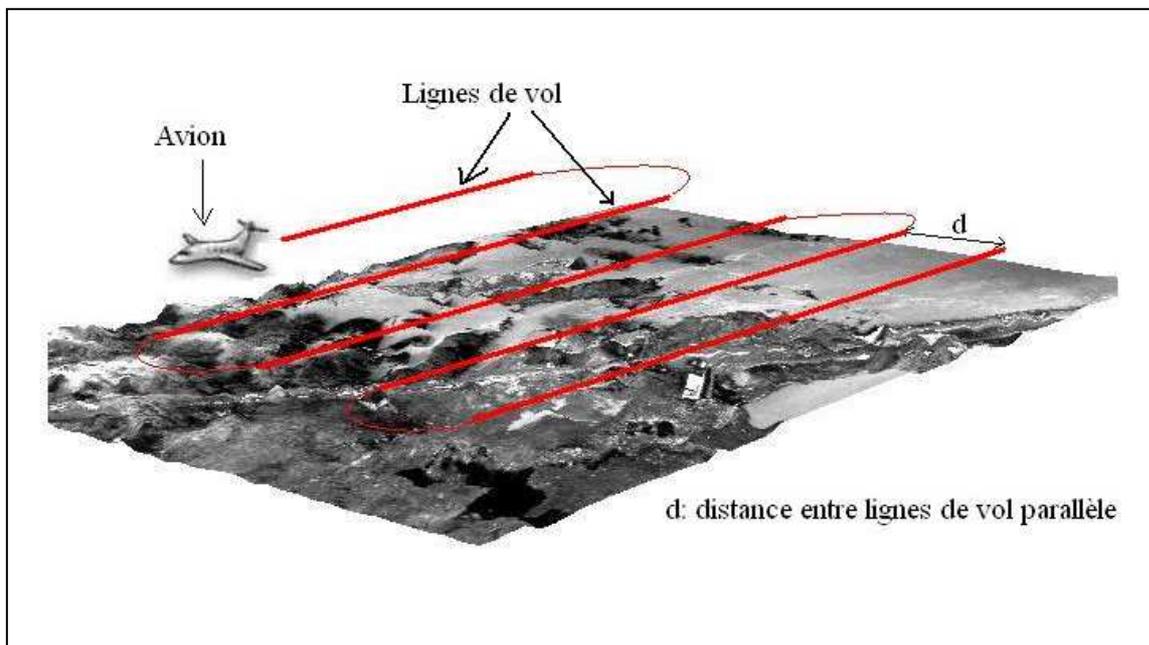
#### **II.2.3 La prise de vue (PV)**

Les couvertures de PA d'un territoire consistent également en des photos verticales. Ces photos sont prises à partir d'avion à une altitude de vol constante selon des bandes rectilignes et parallèles. Les deux clichés se recouvrent généralement d'environ 60% et de manière à ce que les bandes successives aient un recouvrement de 10 à 20%. Une telle couverture est définie par les paramètres suivants:

- échelle

- le format des clichés
- la focale
- les recouvrements

Ces paramètres permettent de calculer les éléments du vol: altitude, la distance entre lignes de vol parallèles, distance entre deux points de vue successifs



*Figure II.2.1 : Prise des mesures de la photo aérienne*

### **II.2.3.1 Echelle (E)**

C'est le paramètre le plus important, elle varie avec l'altitude. Les échelles les plus utilisées varient entre 1/500 et 1/100.000, mais pour les recherches photo géologiques, elles sont comprises entre 1/25.000 et 1/40.000

$$E = \text{distance focale/altitude} = ab/AB = f/(H - h)$$

f = focale

H - h = hauteur de l'avion par rapport au sol

H = hauteur de l'avion au-dessus de la mer

h = hauteur moyen du sol

### **II.2.3.2 Format**

Les PA se présentent sous forme d'épreuves de format généralement carré et de dimension entre 10 et 30cm de côtés. Les deux formats les plus utilisés sont le 18 x 18cm et le 23 x 23cm. Quelles sont les indications que l'on peut trouver sur un cliché ?

Distance focale : A → f = 125 mm - B → f = 150 mm - D → f = 210 mm - E → f = 300 mm

Sur certains clichés sont inscrites les indications suivantes:

- altitude, date, heure, n° de vol,...

### **II.2.3.3 La focale**

Elle détermine le format et l'altitude du champ couvrant un grand angle angulaire, accroître la précision des déterminations altimétriques possible de faire un simple cliché.

Pour orienter (détermination du NG) un cliché avec plus de précision, il faudra utiliser une carte topo. On choisira 2 points quelconque sur la photo assez éloignées l'un de l'autre.

*Exemple:* carrefour, confluent précis de 2 rivières, route,... et on les repèrera sur la carte. Soient AB, il faut ensuite tracer les directions A'B' sur la photo et sur la carte, et les mettre en parallèle. La direction du Nord sur la carte donnera le Nord exact sur la photo.

**Note:** La difficulté principale lors d'une mission photographique est d'assurer la planéité parfaite de la pellicule au moment de la prise de vue PV.

La plupart des photographies aériennes sont captées à l'aide de pellicules noir-et-blanc; toutefois, pour les projets spéciaux, on utilise quelquefois des pellicules couleur, infrarouge et infrarouge couleur.

## **II.2.4 Vision stéréoscopique**

### **II.2.4.1 La vision binoculaire normale**

La vision binoculaire normale est la réunion de 3 opérations distinctes, à savoir:

- l'accommodation,
- la convergence,
- la fusion

#### ***II.2.4.1.1 L'accommodation***

Elle constitue la mise au point réalisée par la courbure variable du cristallin (semblable aux mises au point d'un appareil photo). Elle est fonction de la distance qui sépare l'œil de l'objet examiné.

#### ***II.2.4.1.2 La convergence***

Les axes optiques des deux yeux convergent vers le point regardé. L'angle que fait ces deux axes optiques est appelé *l'angle de convergence*. Le changement minimum de l'angle de convergence que nos yeux peuvent estimer est de 30° d'arc.

Comme la distance interoculaire est de 62,5mm; nous pouvons calculer la distance limite à partir de laquelle nos yeux ne peuvent plus obtenir une impression de relief. Aucune perception du relief n'est possible à partir d'un avion survolant à plusieurs milliers de mètres d'altitude.

#### ***II.2.4.1.3 Fusion***

Elle consiste en la combinaison de deux images en une seule au niveau du cerveau. La perception de relief est le résultat de ces trois fonctions.

### **II.2.4.2 La vision stéréoscopique**

C'est une vision en relief obtenue par l'examen simultané de deux images planes. Elle implique la dissociation dans le mécanisme de l'accommodation et de la convergence. L'emploi des appareils appelés stéréoscopes rend cette dissociation plus ou moins fatigant.

### **II.2.4.3 Les différents types de stéréoscopes**

Il existe deux types principaux de stéréoscope:

#### ***II.2.4.3.1 Le stéréoscope de poche***

Il est très utile par son faible encombrement pour le travail sur terrain. Il ne permet toutefois de voir au même moment qu'une petite partie de la photographie examinée.

#### **II.2.4.3.2 Le stéréoscope à miroir**

Le principe, c'est de renvoyer un jeu de miroirs au regard de chaque œil vers une image différente. Mais plusieurs montages de miroirs sont possibles. Il y a donc plusieurs manières de mettre les images. En fait presque toutes les positions d'images sont accessibles par un jeu de miroirs. Les tailles d'images ne sont pas une limitation.

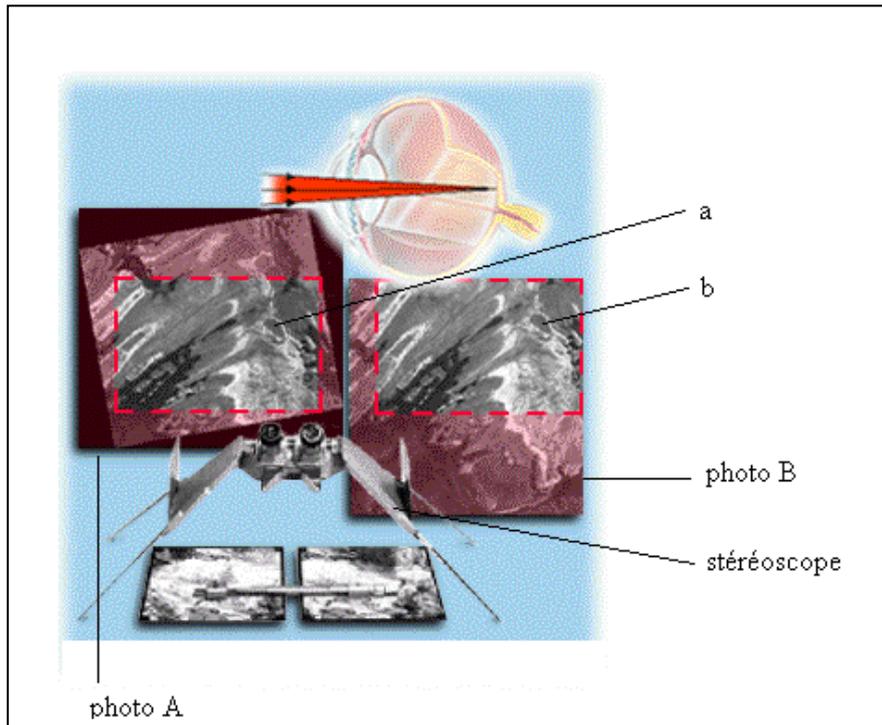


**Photo II.2.1 : Les stéréoscopes**

#### **II.2.4.4 Mise en plan des P.A.**

L'examen correct et non fatigant d'un stéréogramme (couple de 2 PA) impose des conditions très strictes de l'emplacement ou position des photos. En pratique la mise en place se fera comme suit:

- a) on détermine les points principaux  $a$  et  $b$  des 2 photos A et B. On repère sur la photo A l'emplacement du centre  $b$  de la photo B, soit  $b'$ .
- b) de même on repère sur la photo B l'emplacement du centre  $a$  de la photo A, soit  $a'$ . Les points  $a$  et  $a'$  sont appelés points homologues.
- c) on pointe alors les points  $ab'$  et  $a'b$ .
- d) on place ensuite les 2 photos de façon à ce que les 2 droites  $ab'$  et  $a'b$  soient dans le prolongement l'une de l'autre.
- e) on déplace ensuite l'une de ces 2 photos en translation suivant la direction  $ab'$  et  $a'b$  jusqu'à l'obtention de l'écartement désiré ou relief net sous le stéréoscope.



*Figure II.2.2 : mode d'opération des photos aériennes*

#### **II.2.4.5 Les objets observés sur une photographie aérienne**

La PA montre des espaces plus ou moins homogènes et des formes linéaires. Chaque espace constitue ce qu'on appelle géofaciès, et l'ensemble des géofaciès définit le géosystème.

Types d'objets :

\* Les éléments du relief (vallée, crête, versant,...) :

Dans les vallées, on peut observer les cours d'eau avec ses formes et sa largeur, la plaine alluviale, les zones inondables, les alluvions anciennes qui forment les terrasses.

\* Les éléments d'infrastructures :

Ce sont les objets en durs, les routes, les voies ferrées,....

\* Les éléments du milieu naturel :

La végétation plus ou moins homogène nous donne des informations indirectes. Elle est le reflet de ce qu'il y a dans le sol. Dans les sites où la végétation est favorisée, elle apparaît avec des teintes généralement plus sombres (forêt).

\* Les zones attaquées par l'érosion (glissement, effondrement, lavaka...) :

- les linéaments, cassures qui facilitent l'infiltration d'eau et se traduisent par une ligne de végétation plus dense.

- les réseaux hydrographiques, en relation avec la lithologie et la morphologie dynamique.

#### **II.2.4.6 Ce qu'on peut tirer des P. A.**

D'une manière générale, on peut tirer des P.A. 2 catégories d'informations quantitatives et qualitatives.

\* Sur le plan quantitatif :

Les PA permettent au géologue et au mineur, hydrogéologue de :

- mesurer les objets ou phénomène stable ou constant,
- mesurer la variation des objets ou phénomène instable ou dynamique,
- mesurer la direction générale de linéaments,

\* Sur le plan qualitatif :

Les informations sont obtenues par la délimitation des surfaces d'aspect homogène, soit par leur ton, leur texture ou leur forme.

**a) La tonalité**

Elle est fonction de la quantité de lumière réfléchie par l'objet mais elle est perturbée aussi par :

- les variations d'humidité (une augmentation de la teneur en eau se traduit par une teinte plus foncée)
- les changements de texture (un sol à texture fine apparaît plus sombre qu'un sol à texture grossière)

**b) La texture**

Elle est définie par la fréquence de changement de tonalité, de forme, de taille, de type d'érosion associée à des objets trop petits pour être individuellement observés. Elle dépend à la fois de la teinte du sol et de la végétation. Les textures les plus fréquentes sont les textures à gros grains pour les dalles calcaires, textures à grains fins pour les granites.

**c) La forme**

Un certain nombre de relief est suffisamment caractéristique pour être directement associé à des événements géologiques particuliers. Cette identification est facilitée si l'on associe la forme à son environnement.

*Exemple:* la présence de dépression circulaire associée à des collines en forme de cônes égueulés révèle un environnement volcanique.

## II.3 METHODE DE PROSPECTION ELECTRIQUE

La méthode électrique est basée sur la mesure en surface de l'intensité et de la différence de potentiel existante entre les différentes électrodes du dispositif de mesure. Le rapport de ces deux paramètres permet de calculer la résistivité des terrains sous-jacents. La différence de potentiel mesurée  $\Delta V$  dépend de l'intensité du courant injecté, de la disposition des électrodes et de la résistivité électrique du milieu traversé par le courant. On déduit la distribution des résistivités du sous-sol en se basant de la forme du champ potentiel.

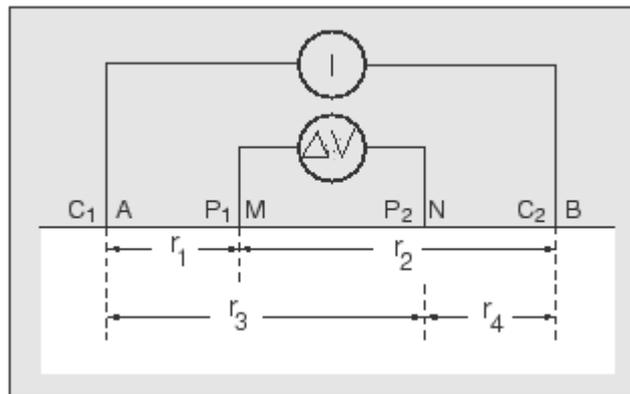


Figure II.3.1 : Dispositif de mesure

A partir de la valeur du courant injecté  $I$ , de la mesure de la différence de potentiel  $\Delta V$  et de l'écartement entre les différentes électrodes. On peut déterminer la **résistivité électrique apparente** du sous-sol en basant sur la loi d'Ohm (annexe 2).

La résistivité apparente d'un terrain hétérogène correspond à la résistivité d'un terrain homogène qui, pour une configuration identique des électrodes et un même courant injecté, donnerait la même mesure  $\Delta V$ . Elle est fonction de la résistivité, de la géométrie des diverses couches et de la disposition des électrodes. Il existe plusieurs dispositifs de mesure suivant le nombre ou la disposition des électrodes utilisés en pratique : Schlumberger, Wenner, pôle-pôle, dipôle-dipôle, etc.

### II.3.1 IMAGERIE PAR TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE

#### II.3.1.1 Acquisition des données

Le panneau électrique (2D) est une technique de prospection électrique permettant une investigation latérale et verticale. On acquiert un grand nombre de mesures correspondant à différentes combinaisons possibles des électrodes à partir d'une série d'électrodes (une série

composée de 32 électrodes ou plus). Cette technique est définie aussi comme la combinaison du sondage et du profilage électriques.

Le dispositif multiélectrode de base est constitué de  $n$  électrodes alignées, régulièrement espacées, soit  $a$  la distance entre deux électrodes successives. Chaque électrode peut être utilisée successivement comme électrode d'émission puis de réception. A partir de ce dispositif de base, de multiples combinaisons peuvent être proposées. Nous prenons le cas du dispositif Wenner; il s'agit du dispositif classique du prospecteur pour lequel les distances successives  $AM=MN=NB$  sont égales successivement à  $na$  où  $n$  s'incrémente régulièrement d'une unité depuis 1, jusqu'à  $(N-1)/3$ , si le nombre d'électrodes total  $N$  est égal à un multiple de 3 plus 1.

La première étape dans l'interprétation des données en tomographie électrique consiste à construire une **pseudo-section**. Celle-ci est obtenue en reportant la valeur de la résistivité apparente mesurée au centre du dispositif et à une profondeur dépendant de l'écartement entre les électrodes. Cette représentation conduit à une image pour laquelle les valeurs de résistivité et celles de profondeur ne sont pas correctes. La figure II.3.2 montre la construction de la pseudo-section pour un dispositif Wenner.

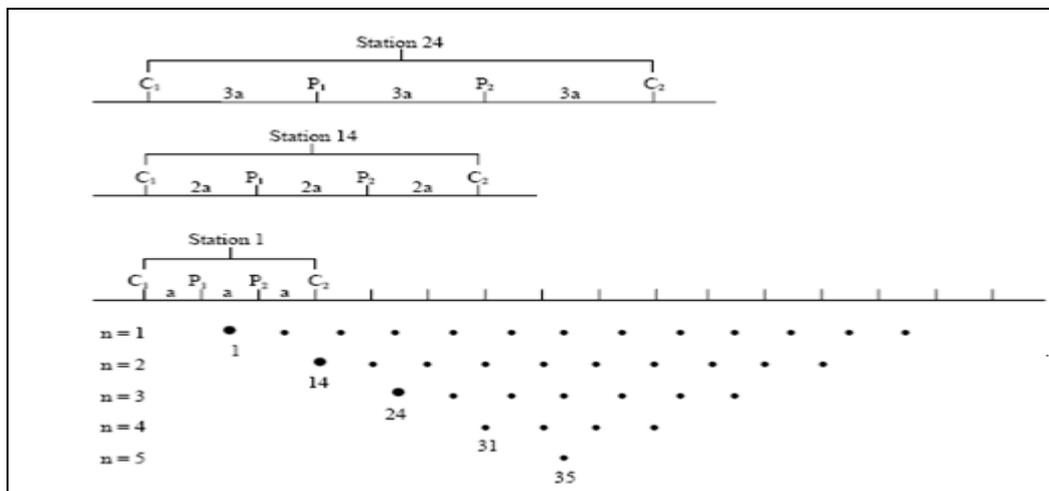


Figure II.3.2 : Principe de construction d'une pseudo-section

### II.3.1.2 Traitement et interprétation des données

On établit une ITE du sous-sol en traitant avec le programme RES2DINV (logiciel élaboré par M. Loke) les données acquises sur le terrain par un dispositif « multi électrodes »

(« panneau électrique »). Le traitement consiste surtout à établir un modèle 2D du sous-sol. Il se réalise en trois étapes :

- ⇨ la lecture du fichier des données
- ⇨ l'inversion itérative par moindres carrés
- ⇨ la détermination du modèle 2D du sous-sol.

Ce programme détermine automatiquement la pseudo-section en utilisant les valeurs de résistivité apparente mesurée ( $\rho_a$ ). Pour l'inversion des données, on utilise la méthode des différences finies. Elle se répète jusqu'à ce que le RMS (Root-Mean-Squart) ou écart quadratique moyen soit inférieur à 5%. Le modèle final est déterminé après plusieurs itérations sous forme de coupe géoélectrique 2D.

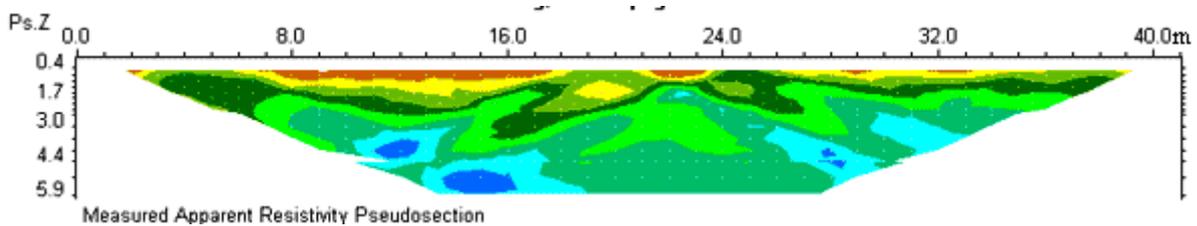


Figure II.3.3 : Profil en géophysique en résistivité apparente

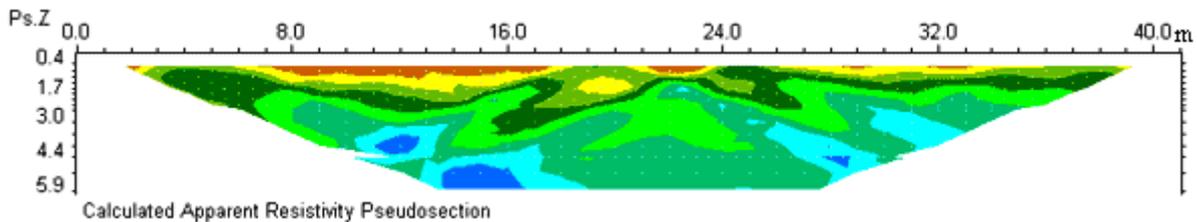


Figure II.3.4 : Profil en géophysique recalculée par le logiciel d'inversion

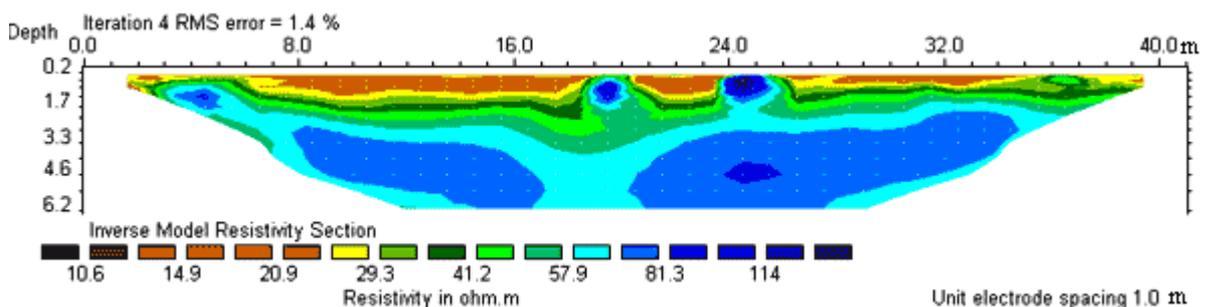


Figure II.3.5 : Profil géophysique en résistivité vraie

### II.3.2 DISPOSITIF WENNER

En 1916, Wenner a avancé qu'on peut mesurer la résistivité de sous-sol, en tenant compte de la différence de potentiel entre deux points de la surface après injection du courant continu dans le sous-sol. Traditionnellement et par convention, on appelle A et B les électrodes d'émission (A est l'électrode source, B est l'électrode puits), et M et N les électrodes de réception à l'aide desquelles on mesure la différence de potentiel  $V_M - V_N$ . On utilise également ces deux dispositifs pour le profilage (ou le trainé électrique) et la cartographie, pour l'étude des structures non tabulaires (structures 2D ou 3D).

Le dispositif Wenner représenté par la figure II.3.6 ci-dessous est constitué de quatre électrodes alignées et équidistantes.

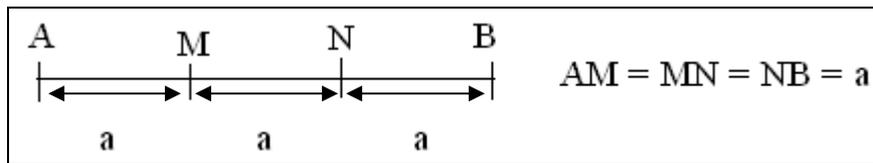


Figure II.3.6 : Dispositif Wenner

Pour un sous-sol homogène et isotrope de résistivité électrique  $\rho$ , la différence de potentiel mesuré entre les électrodes M et N est liée au courant  $I$  injecté entre A et B, à la résistivité électrique du sous-sol  $\rho_a = \frac{2\pi a \Delta V}{I}$  et à la géométrie (« a » distance inter-électrodes) du dispositif de mesure par la relation  $\Delta V = \rho \frac{I}{2\pi a}$ . La mesure de  $\Delta V$  et de  $I$  permet de connaître la résistivité  $\rho$  du sous-sol homogène.

**Profondeur d'investigation (dispositif Wenner) :**  $P = 0.519 a$

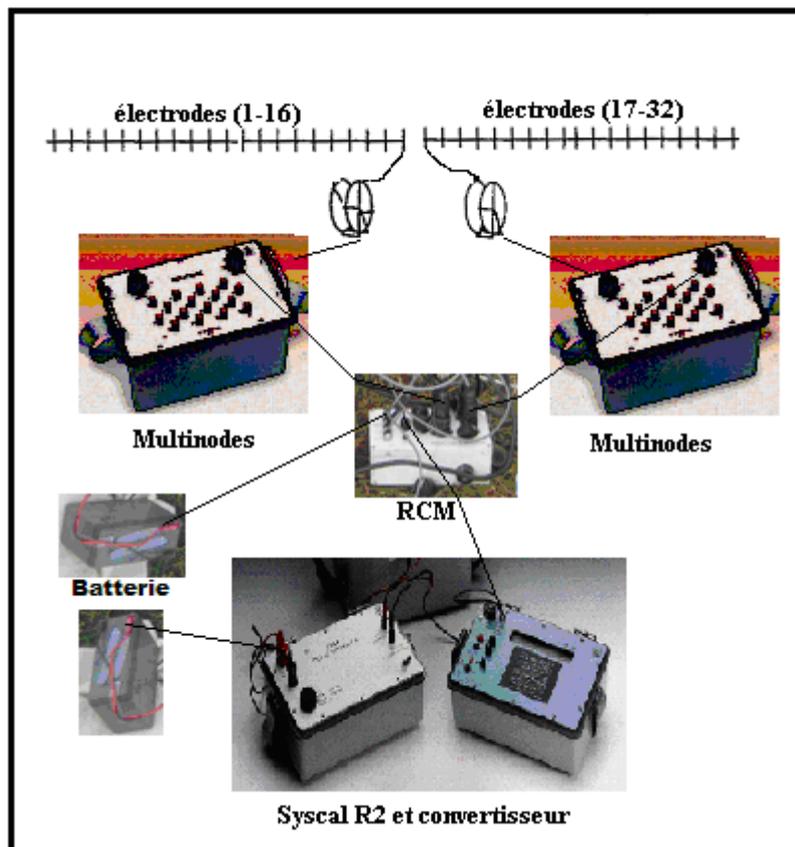
### II.3.3 APPAREILS DE MESURE

Lors de la campagne géophysique, on a utilisé le résistivimètre électrique SYSCAL R2 développé par Iris Instruments. Ce résistivimètre est caractérisé par:

- 1 une tension de sortie de 800Volts (1600V crête à crête),
- 2 un courant maximum de sortie jusqu'à 2.5A,
- 3 une puissance maximum de sortie de 1600Watts,

- 4 une impédance d'entrée de  $10M\Omega$ ,
- 5 une gamme de tension d'entrée de -5 à +5V,
- 6 une compensation automatique de la PS (-5 à +5V) avec une correction linéaire de la dérive (jusqu'à 1mV/s),
- 7 une mesure de la prise de résistance de prise de terre de 0.1 à 1000K $\Omega$

Le résistivimètre est associé à un convertisseur DC/DC de 250Watts alimenté par une batterie de 12V.



*Photo II.3.1 : Matériels de prospection électrique en panneau électrique (dispositif multiélectrodes)*

**PARTIE III**

**INTERPRETATION DES DONNEES ET DISCUSSIONS**

### **III.1 INTERPRETATION DE LA PHOTO AERIENNE**

Les géophysiciens doivent être fiés aux indices visibles en surface. Par exemple, l'accumulation d'un type de végétation dans un secteur géographique particulier peut être due à la présence d'un cours d'eau souterrain ; conséquence indirecte d'un événement géologique profond ayant souvent des répercussions en surface. Ces répercussions se présentent sous la forme de linéaments. On peut percevoir les éléments rectilignes ou curvilignes à la surface de la croûte terrestre et qui traduisent la présence de phénomènes plus profonds, comme par exemple des failles, des fractures, et des contacts géologiques.

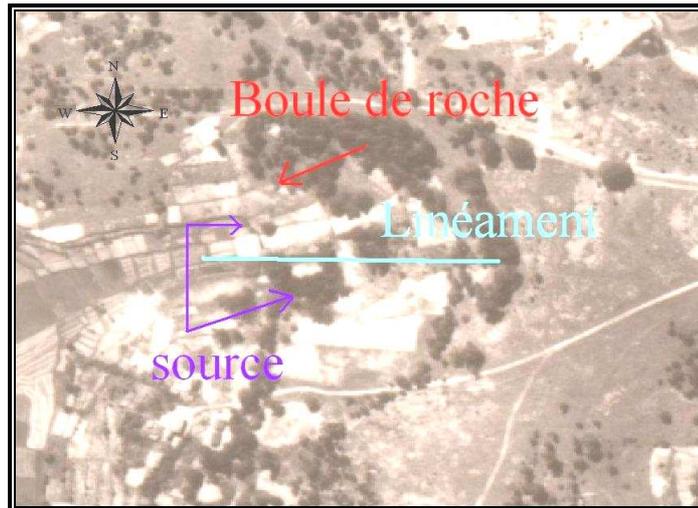
L'observation faite sur la photographie aérienne nous a permis de différencier les entités géomorphologique et géologique se trouvant au site et ses environs.

Les bas-fonds entourant la terrasse sont le siège des sources de résurgence, ce qui signifie que le substratum rocheux, base de l'aquifère arénique, suit la morphologie de surface sous la latérite épaisse, en convexe.

#### **Identification des linéaments**

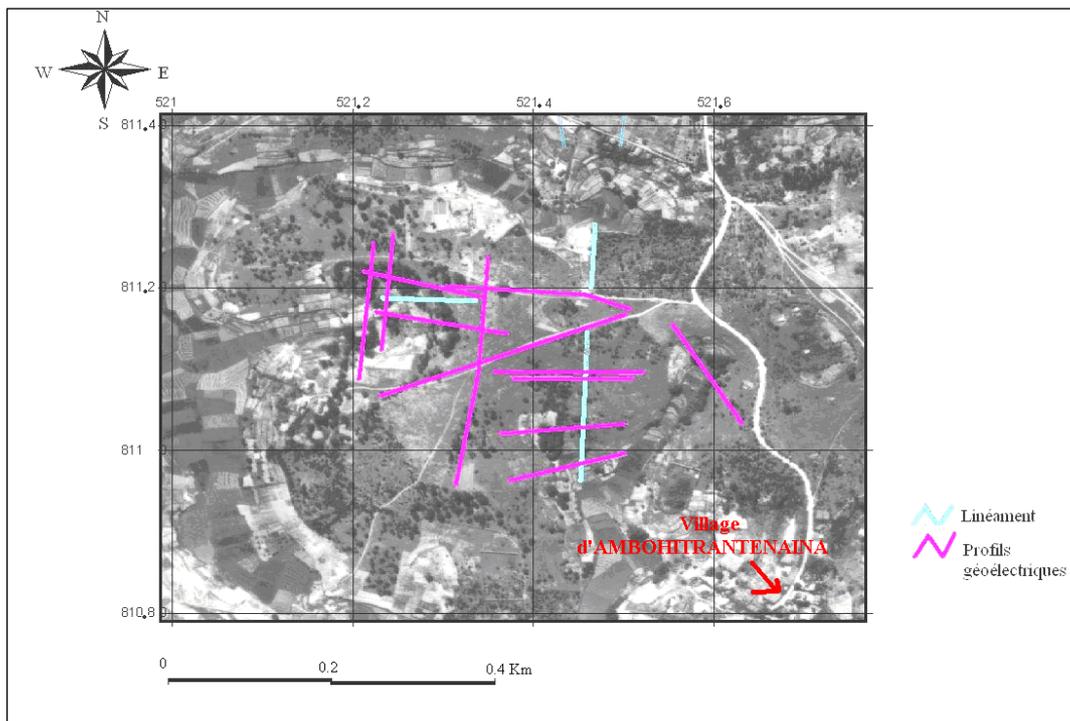
Le site d'étude est généralement situé sur des lignes de crête, qui suivent une direction généralement Est-Ouest.

On a trouvé un linéament situé à l'Ouest, ayant une direction Est-Ouest et dont une partie est dans la vallée. La plupart des cours d'eau environnants à l'Ouest de ce site et alimentent des rizières. La présence de cours d'eau semble indiquer que le linéament est d'origine tectonique, autrement dit effet d'une principale fracture. On note la présence des altérations en boue affleurant. Elles suivent généralement des directions Est-Ouest et Nord-Sud.



**Figure III.1.1 : Disposition du linéament dans la vallée Ouest**

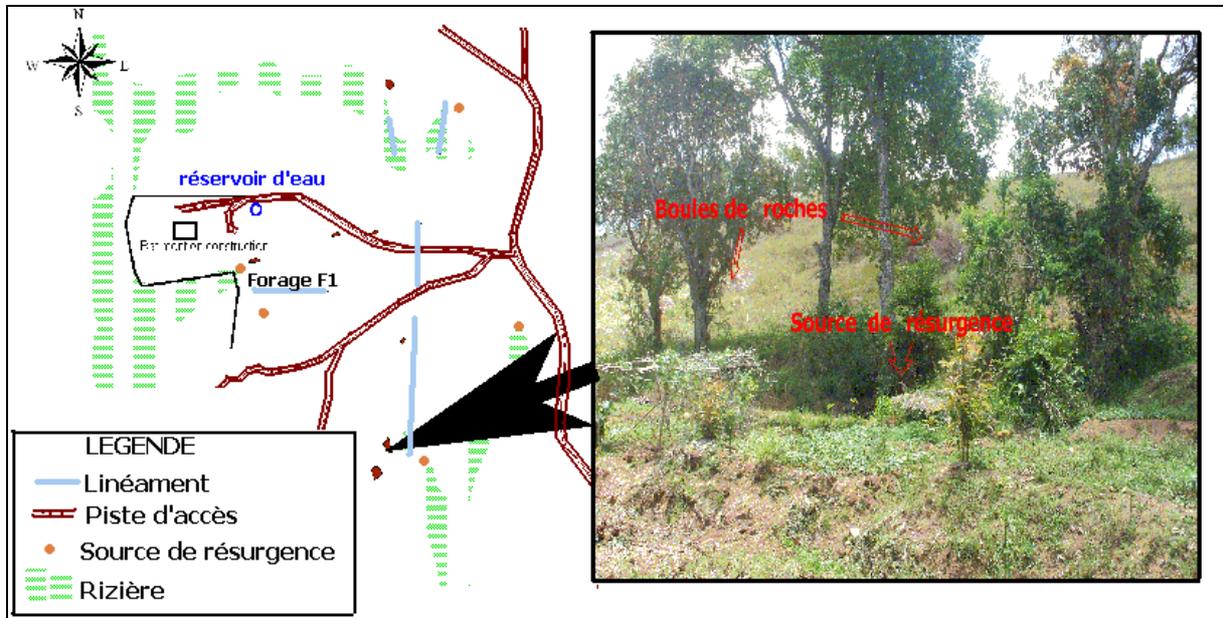
On observe 2 linéaments dans la partie Est du site coupant la ligne de crête, ayant la direction Nord. L'une est située au Nord de la voie d'accès et l'autre située dans la vallée Est, alignée au premier linéament tout au long de cette vallée. Ils sont caractérisés visuellement par la couverture végétale. Une partie est boisée plus dense et l'autre en est moins. Observées sur terrain, la direction des boules de roches justifie l'existence de la fracture suivant la direction de ce linéament.



**Figure III.1.2 : Disposition des profils géoélectriques par rapport aux linéaments observés**

On peut dire qu'il y a la fracture suivant la direction de ces linéaments. La schistosité des roches affleurantes, relevée lors de la campagne de reconnaissance est Est-Ouest.

Donc, on peut construire une carte de linéament de ce site (figure III.1.3).



*Figure III.1.3 : Carte des linéaments, résultat d'analyse de photographie aérienne*

### III.2 INTERPRETATION DES RESULTATS DU PANNEAUX ELECTRIQUES

Douze panneaux ont été réalisés sur le site dont sept dans la limite du terrain de la propriété et cinq en dehors de la limite. Le but de cette étude est de trouver le meilleur point pour implanter le point de captage. La figure III.2.1 montre le plan et la disposition de ces panneaux.

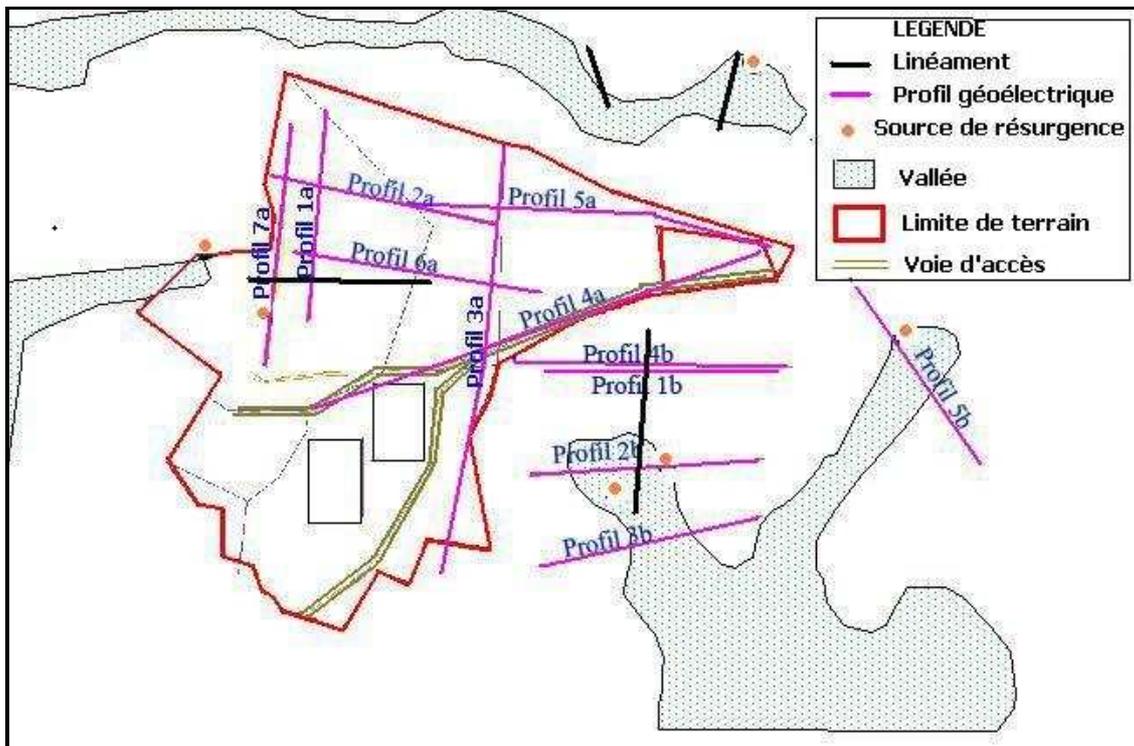


Figure III.2.1 : plan de masse du site d'Tsarahonenana

#### III.2.1 Coupe du profil 1a

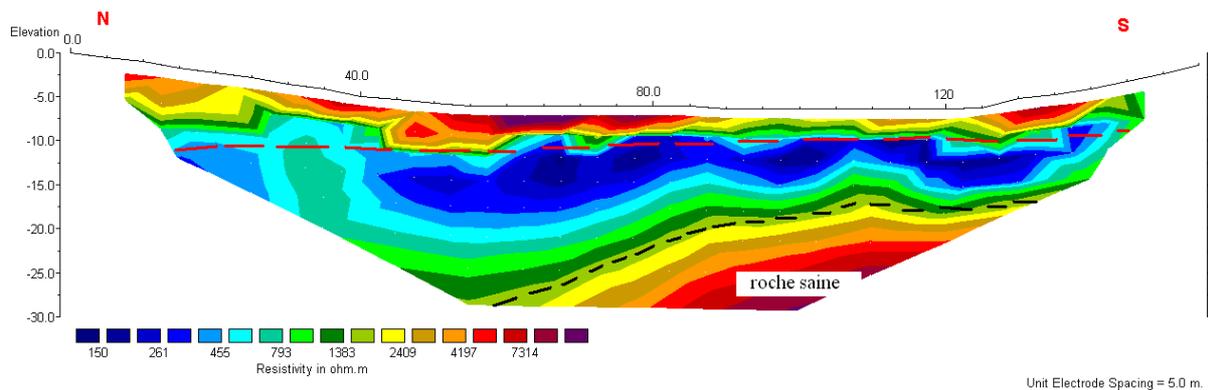
Le profil 1a est implanté sur le versant et de la grande terrasse. Il passe juste au-dessus de la source de résurgence et il est orienté parallèlement à la clôture en cours de construction. La distance inter-électrode est de 5m.

Sur la coupe géoélectrique de résistivité, nous avons trois couches :

- Une première couche très résistante de résistivité de l'ordre de  $5000\Omega.m$  et s'étend tout au long du profil. Elle a une puissance variable comprise entre 2m et 7m. La coupe de résistivité électrique a montré un épaissement de la couverture latéritique en allant vers le Nord, dans la partie où le réservoir est implanté.

- Une seconde couche conductrice de résistivité comprise entre  $150\Omega.m$  et  $600\Omega.m$ , s'étend en générale au point d'abscisse 40m au 140m. Le niveau statique est estimé à 7m.
- Une troisième couche résistante de résistivité entre  $793\Omega.m$  et  $2000\Omega.m$ . Elle forme en dessous de la couche conductrice. C'est le socle.

La structure générale du substratum imperméable est confirmée par cette coupe et généralement incliné. Le profil n'a pas traversé la discontinuité latérale, faille ou fracture. La roche saine est à faible profondeur dans le secteur Sud de la zone.



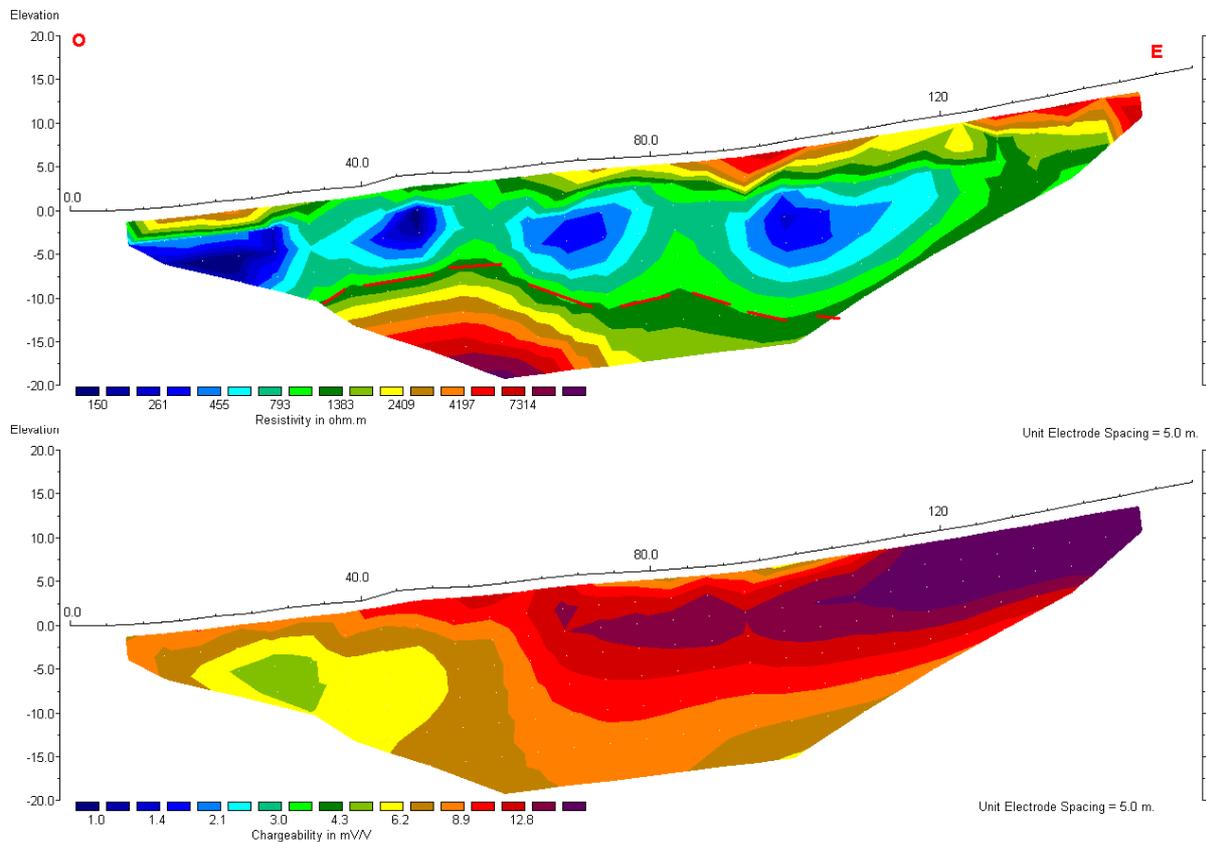
*Figure III.2.2 : Coupe géoélectrique du profil 1a*

### III.2.2 Coupe du profil 2a

La ligne est étalée suivant la direction Est-Ouest, le long du versant de la colline situé dans le secteur Est de la zone. Trois couches se présentent sur la coupe géoélectrique de ce profil :

- La couche très résistante affleure sur la couche superficielle entre les abscisses 10m et 25m et surtout entre les abscisses 65m et la fin du panneau. Elle s'épaissit en allant vers l'Est. Compte tenu de la géologie de cette zone, c'est de la latérite.
- La couche conductrice de l'ordre de  $250\Omega.m$  est discontinue. Il apparaît entre les abscisses de début du panneau électrique et 30m, ensuite entre 40m et 55m, entre 60m et 80m et enfin 90m et 120m. Elle se caractérise par des couches saturées en eau.
- La troisième couche est résistante de couleur jaune au violet.

Elle constitue le substratum. Et ainsi la coupe a montrée que le toit du substratum rocheux est légèrement incliné vers l'Est. La partie altérée s'épaissit en allant vers la terrasse.



**Figure III.2.3 : Coupe géoélectrique du profil 2a en 2D**

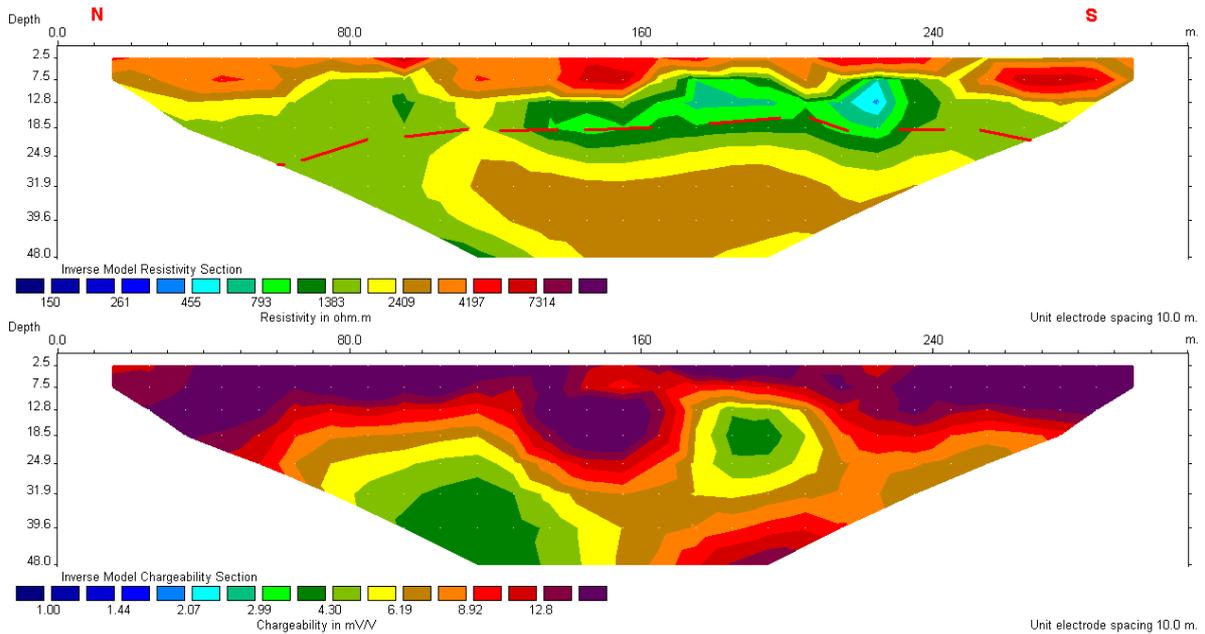
La couverture latéritique est constituée des éléments à faible valeur de chargeabilité, donc à grains fins. On peut dire alors que l'aquifère dans la zone d'altération est à faible perméabilité hydraulique.

### III.2.3 Coupe du profil 3a

Le profil est étalé au niveau du versant Ouest de la colline. Il traverse presque la totalité la partie Est de la propriété du Nord en Sud (Figure III.2.1). Avec une longueur de ligne 310m, la profondeur d'investigation atteinte est de l'ordre de 45m.

La coupe n'a fait que confirmer la formation obtenue avec le profil 1a. L'épaisseur de la couverture latéritique augmente en allant vers le Nord.

Le toit du substratum rocheux est à 12m de profondeur dans le secteur Sud. Il est à plus de 24m de profondeur dans le Nord.



**Figure III.2.4: Coupe géoélectrique du profil 3a en 2D**

La coupe n'a pas rencontré la discontinuité représentative.

### III.2.4 Coupe du profil 4a

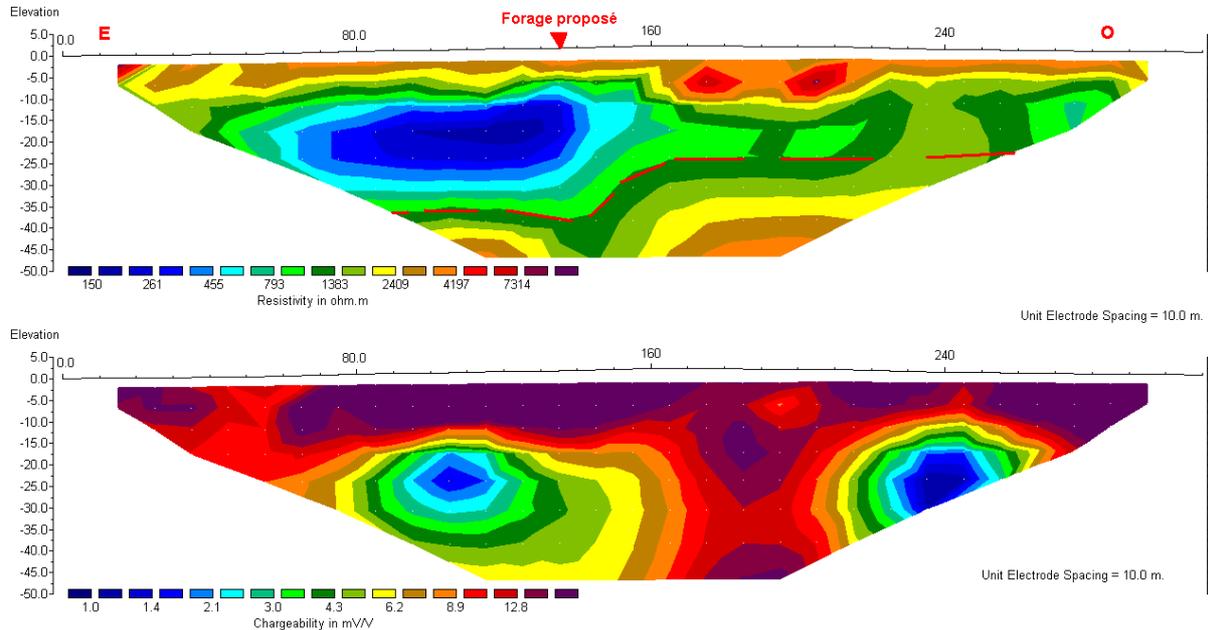
La ligne est étalée suivant la direction Est-Ouest, sur la terrasse ou la colline. Elle longe la piste avec une distance inter-électrode de 10m. L'augmentation a été faite dans le but d'atteindre le toit de substratum qui plonge progressivement en allant vers l'Est, sur la coupe du profil 2a.

- La surface est couverte la couche très résistante d'une valeur de résistivité comprise entre  $2409\Omega.m$  et  $10000\Omega.m$ . Tenu compte de la géologie de ce site, elle correspond à la latérite.
- La couche conductrice est facile à localiser. Elle a une valeur de résistivité entre  $150\Omega.m$  et  $600\Omega.m$ . Donc elle est, sur cette coupe, entre l'abscisse 60m et 150m. Cette zone correspond à la nappe d'aquifère libre
- La troisième couche est résistante. Elle a une valeur de résistivité comprise entre  $800\Omega.m$  et  $3000\Omega.m$ . La coupe a mis en évidence une discontinuité latérale.

Le niveau du toit de substratum rocheux est beaucoup plus bas dans la partie Est de la zone que dans la partie Ouest.

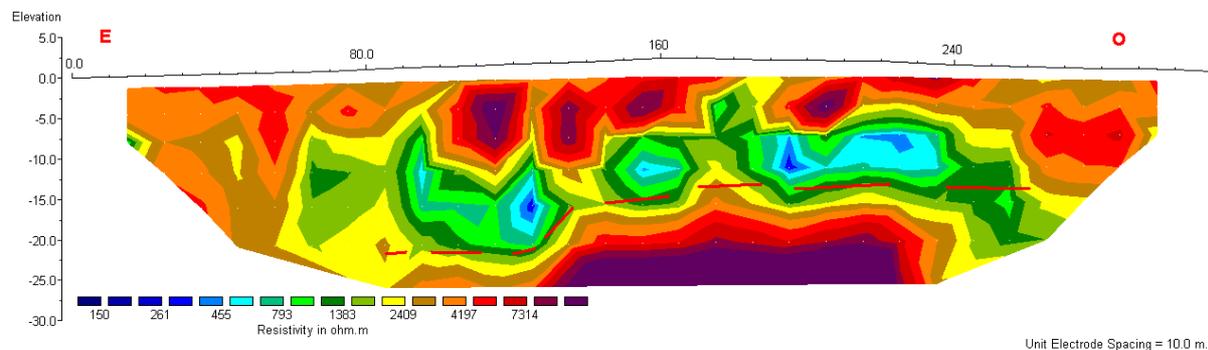
La discontinuité mise en évidence est-elle due à une faille ou non ? C'est la question qui se pose devant cette situation.

Elle est très intéressante de point de vue captage d'eau souterraine si elle représente une fracture ou faille.



**Figure III.2.5w : Coupe géoélectrique du profil 4a en Wenner**

La mise en station de dipôle-dipôle et l'exécution d'un profil parallèle au profil 4a pourraient répondre d'avantage à la question posée ci-dessus.



**Figure III.2.5d : Coupe géoélectrique du profil 4a en Dipôle**

- cette coupe est semblable à la figure III.2.5w. La couche très résistante reste superficielle tout au long du panneau électrique. Elle a une puissance d'environ 7m.
- La nappe d'eau est définie comme dans la coupe de la figure III.2.5w.
- La coupe obtenue à partir de dipôle-dipôle n'a fait que confirmer le changement de niveau du toit du socle au point d'abscisse 130m. Or, la

discontinuité ne laisse pas d'indice en surface, ni morphologiquement ni pédologiquement.

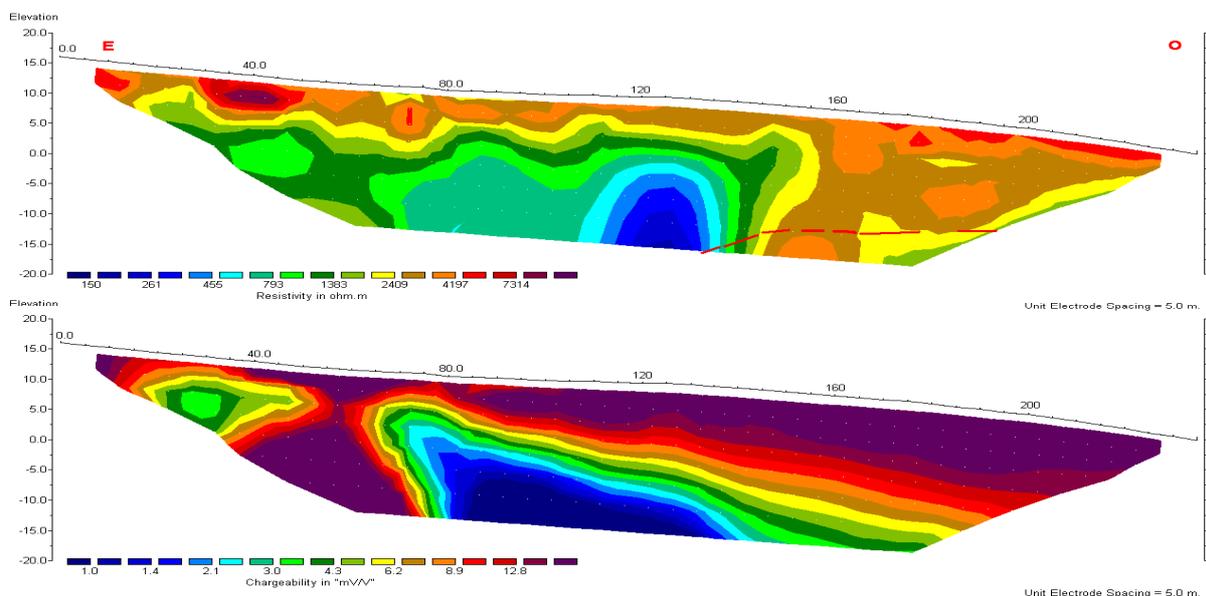
### III.2.5 Coupe du profil 5a

Elle est obtenue à partir des deux profils imbriqués (Figure III.2.1). Elle est presque parallèle au profil 4a et elle est étalée beaucoup plus au Nord de profil 4a.

- La couche très résistante affleure toujours à la surface superficielle. Elle commence par le début du panneau jusqu'à la fin du panneau. La valeur de résistivité de cette couche est de l'ordre de  $4197\Omega.m$ . Elle atteint le fond de la coupe de l'abscisse 150m vers la fin de la coupe.
- La partie conductrice est entre l'abscisse 105m et 135m. Elle correspond à la nappe souterraine.

La discontinuité met en évidence par le profil 4a réapparaît encore une fois sur le profil 5a. Le profil a mis en évidence une discontinuité latérale. Elle se trouve à 122m du bout Est du profil. Elle est caractérisée par la couleur bleue sur la coupe.

Il s'agit soit de contact entre deux formations à structure lithologique distincte ou d'une faille.



**Figure III.2.6 : Coupe géoélectrique du profil 5a en 2D**

Il faut rappeler ici que seul l'essai de pompage peut nous donner l'exploitabilité de l'aquifère sus-jacente, le débit d'exploitation.

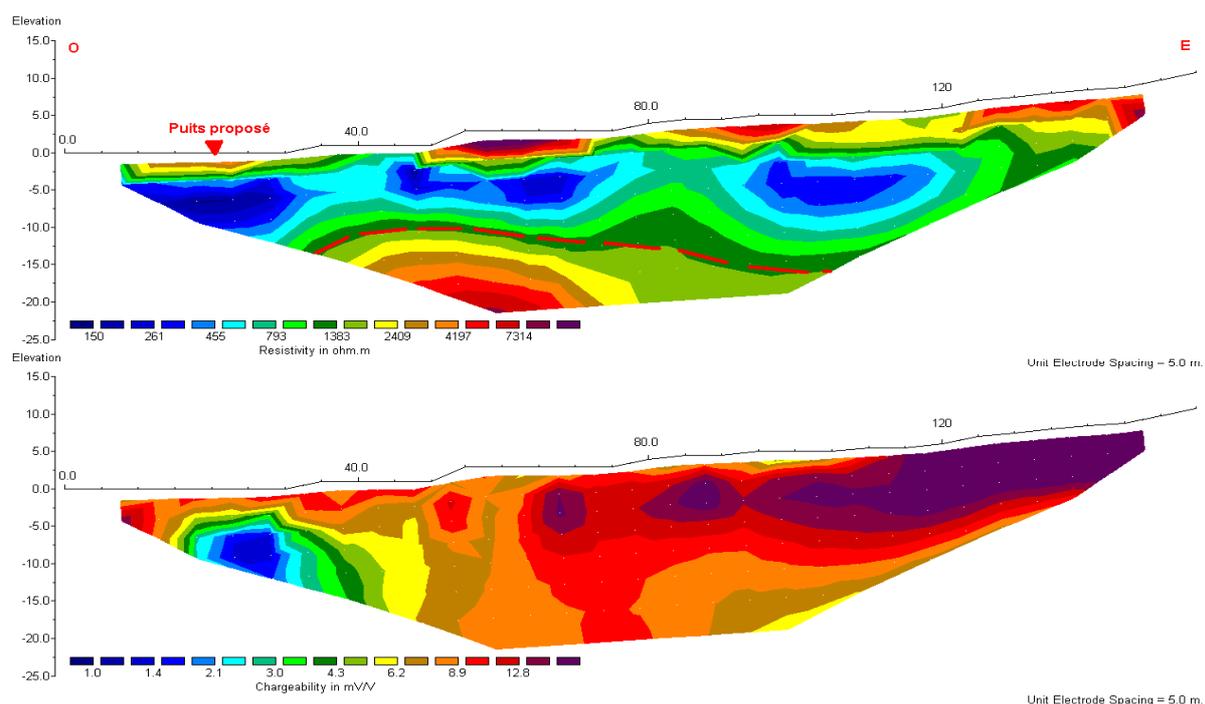
### III.2.6 Coupe du profil 6a

Elle a été étalée dans le but de localiser le deuxième point d'implantation d'ouvrage d'exploitation d'eau souterraine. Le bout Ouest du profil est situé juste en amont de la source de résurgence, localisé dans la vallée Sud Est du site.

- La couche superficielle est une couche très résistante entre les points d'abscisse 10m et 25m, entre 50m et 72m, et puis entre 80m et enfin entre 110m et la fin du profil. Cette couche correspond à la latérite.
- La deuxième couche moins résistante, à valeur de résistivité électrique comprise entre 150Ω.m et 730Ω.m, est bien marquée tout au long de la coupe. Elle a une puissance moyenne de 7m. Elle caractérise la nappe aquifère du site.
- La troisième couche résistante est caractérisée par le substratum. Elle est semblable au profil 2a. La partie altérée s'épaissit en allant vers la terrasse.

La coupe a montré une zone à faible valeur de résistivité dans sa partie Ouest. La chargeabilité y est modérée. Le toit du substratum est moins profond.

Cette zone est intéressante pour un captage d'eau souterraine.



**Figure III.2.7 : Coupe géoélectrique du profil 6a en 2D**

Nous avons rencontré à une nappe d'arène sur ce profil. La réalisation d'un puits de grand diamètre, au lieu d'un forage, augmente vraisemblablement le débit d'exploitation de la nappe dans ce secteur.

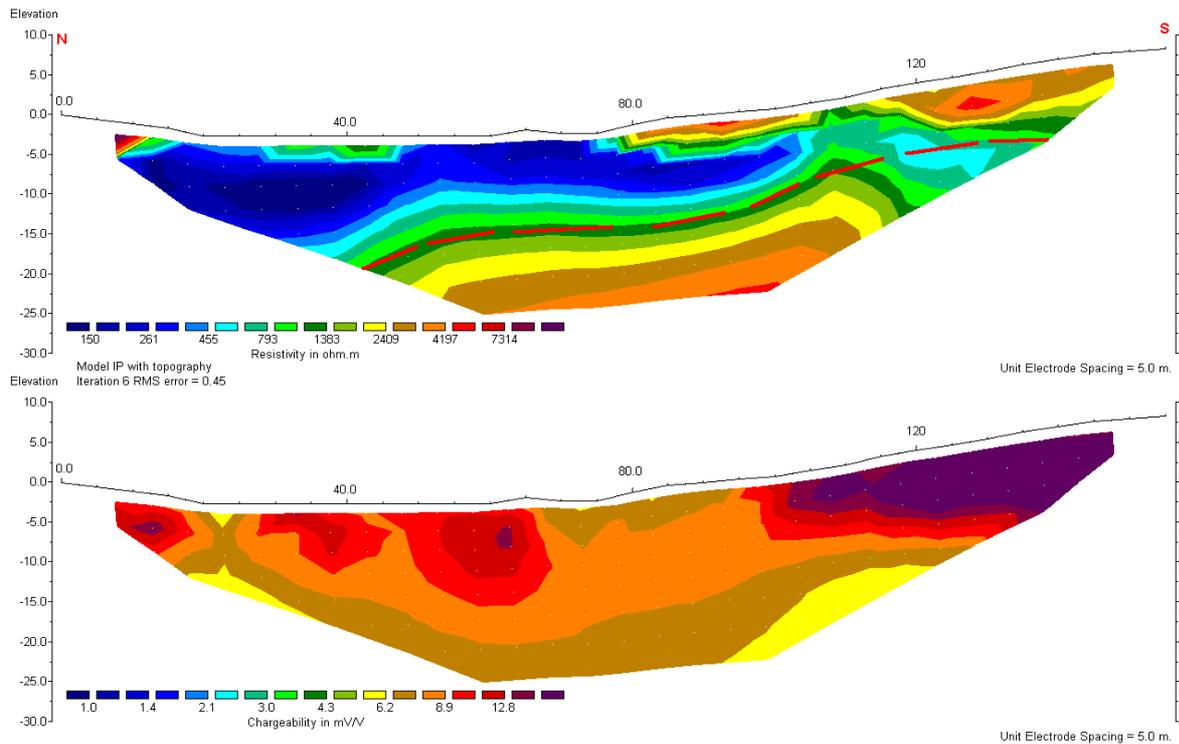
### III.2.7 Coupe du profil 7a

Le profil 7a longe la clôture, en cour de construction délimitant la propriété dans la vallée (Figure III.2.1). Elle occupe la partie Sud de la vallée et traverse le versant Nord de la colline où il y a le hameau.

La coupe a montré encore une fois que le toit du substratum rocheux est incliné légèrement vers le Nord, et la couverture s'épaissit dans cette direction.

On note la présence d'une formation conductrice dans le secteur Nord de la coupe. Mais par souci d'interférence, avec le forage déjà implanté, nous ne suggérons pas l'implantation de l'ouvrage d'exploitation d'eau sur cette zone.

Le substratum rocheux est sub-affleurant sous le versant Nord de la colline.



**Figure III.2.8 : Coupe géoélectrique du profil 7a en 2D**

### III.2.8 Coupe du profil 1b

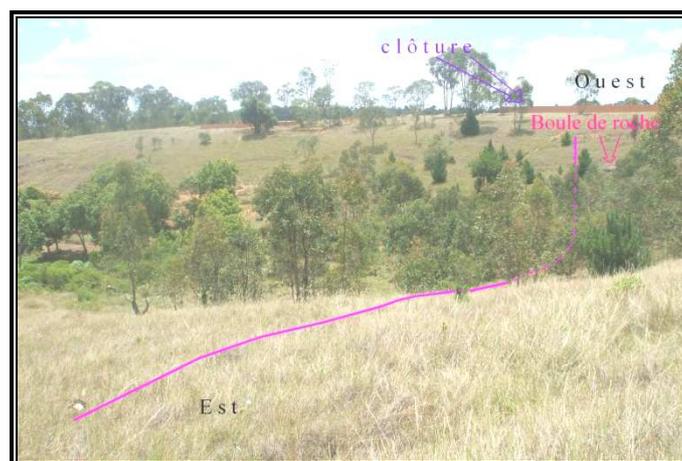
Dans ce panneau, la distance inter électrode est de 5m soit une longueur de ligne de 155m. Il a une direction Est-Ouest, et son centre est situé dans une vallée à l'Est de la clôture.

Sur la coupe géoélectrique de résistivité, nous avons trois formations :

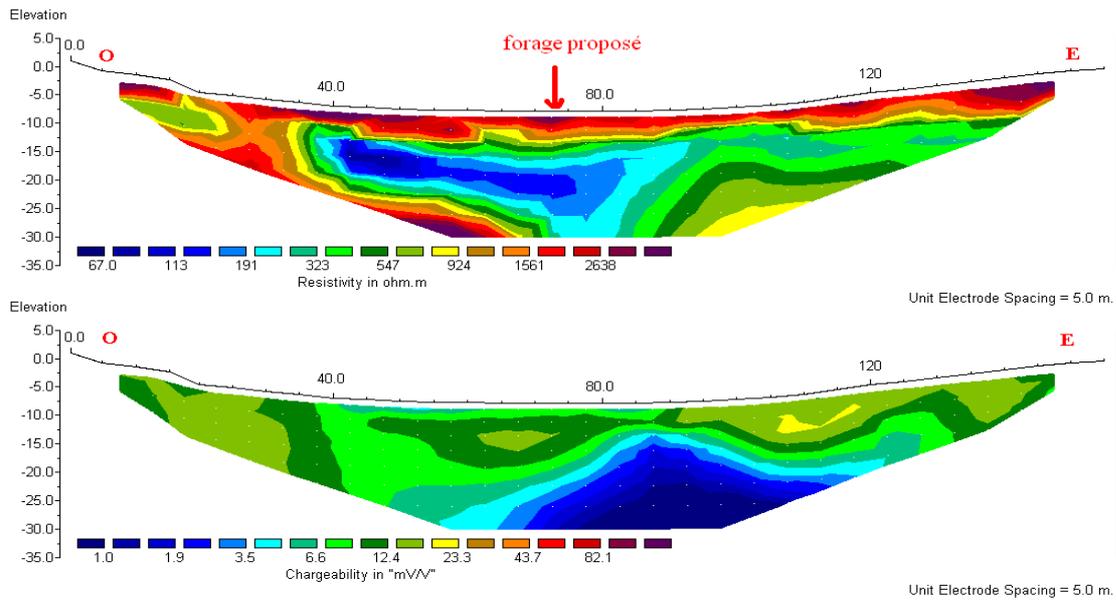
- Une première couche très résistante de jaune au violet ayant une résistivité de l'ordre de  $1800\Omega.m$ . Elle s'étend tout au long du profil avec une puissance moyenne de 4m, autrement dit un épaissement de la couverture latéritique. Entre l'abscisse 20m et 35m on constate la remontée du socle observé sur terrain par la présence d'une boule de roche (figure III.2.1);
- Une seconde couche conductrice se trouvant entre les abscisses 40m et 85m, et entre les profondeurs 12.5m et 25m avec une valeur de résistivité allant de  $100\Omega.m$ . Cette structure saturée en eau, détectée par la géophysique est relativement importante sur la coupe. Elle pourrait correspondre à la nappe aquifère de la zone (nappe libre) ;
- Enfin, une troisième couche résistante domine le versant Est. Elle atteint le fond de la coupe et sa résistivité apparente va de  $400\Omega.m$  à  $800\Omega.m$ . Elle pourrait considérer comme substratum mais son toit n'est pas bien marqué. La coupe a mis en évidence une discontinuité latérale.

La valeur de la chargeabilité électrique varie entre  $1mV/V$  et  $23.3mV/V$ .

Entre les abscisses 40m et 90m la valeur de la chargeabilité est inférieure à  $12.4mV/V$ . Ceci pourrait correspondre à une porosité élevée. En effet, nous proposons un point de forage d'exploitation d'eau souterraine ainsi indiqué par la figure III.2.9.



**Photo III.2.1 : Profil du panneau 1b**



**Figure III.2.9 : Coupe géoélectrique du profil 1b en 2D**

### III.2.9 Coupe du profil 2b

Le profil 2b a été étalé parallèlement au profil 1b, et son centre est situé au champ aménagé. Ce panneau électrique est configuré par 32 électrodes qui a de 5m de distance inter-électrode. Sa longueur totale vaut 155m.

La formation très résistante superficielle, qui est constituée de la couverture latéritique, n'existe qu'entre les abscisses 0m et 20m puis 40m et 70m. De plus, la couche résistante à la base, qui affleure à l'Ouest de cette coupe est visible. C'est de la roche saine.

La structure saturée en eau apparaît entre les abscisses 30m et 35m et surtout entre les abscisses 72m et 87m. Du point de vue hydrogéologique cela correspond à une nappe d'eau. Le niveau de la nappe gagne quelques hauteurs par rapport au profil 1b, vue deux sources de chaque coté.

Le substratum a deux formations bien distinctes : l'une le substratum rocheux et l'autre correspond à une couche d'argile. Son toit est à 15m au centre du profil.

Sur la coupe de chargeabilité, nous remarquons que les valeurs s'étalent entre 3.5mV/V et 40mV/V. Nous analysons la coupe de chargeabilité en utilisant une analogie par rapport à la coupe de résistivité. Entre les abscisses 25m et 35m, et puis entre 50m et 120m. La zone saturée en eau, correspond à la valeur de la chargeabilité moyennement petite ( $\approx 6\text{mV/V}$ ). L'aquifère rencontré est à forte conductivité hydraulique.



Figure IV.2.2 : Photo profil du panneau 2b

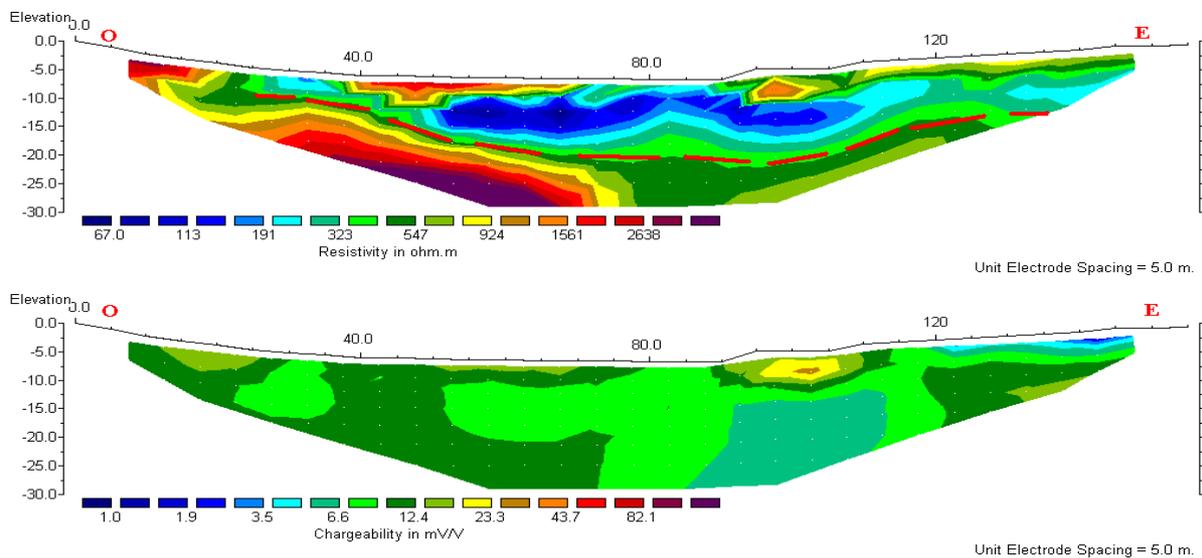


Figure IV.2.10 : Coupe géoélectrique du profil 2b en 2D

### III.2.10 Coupe du profil 3b

Une zone résistante, colorée en jaune et en rouge sur la coupe, affleure superficiellement aux deux extrémités de la coupe. Elle s'épaissit à l'Ouest, et la valeur de la résistivité est très élevée avec une résistivité moyenne de 2125Ω.m. Elle pourrait correspondre à la montée du socle qui est bien marquée en présence de deux boules de roches.

L'autre couche résistante est à faible profondeur avec une puissance moyenne de 3m. Elle s'étend à la partie Est de la coupe.

La formation de la couche de la base à l'Ouest du profil existe toujours depuis le profil 1b et le profil 2b. Cette formation n'est pas intéressante du point de vue hydrogéologique. Elle indique en générale la zone non saturée en eau.

On note la présence d'une formation à faible résistivité, elle pourrait correspondre à l'argile sableuse. Elle atteint la surface superficielle au centre de cette coupe. Cela est dû à la présence des rizières. L'eau de source de résurgence s'écoule vers elles qui sont le centre de ce profil.

Le substratum argileux affleure toujours dans la partie Est du profil. Son toit est estimé à 25m au centre de ce profil.

On constate que les valeurs de la chargeabilité varient entre 3.5mV/V et 30mV/V. La zone à faible valeur de chargeabilité indique la présence d'une formation à grain moyen ou grossier, secteur centre de la coupe.



Figure III.2.3 : Disposition des boules de roches par rapport à la source

Figure III.2.4 : Photo profil du panneau 3b

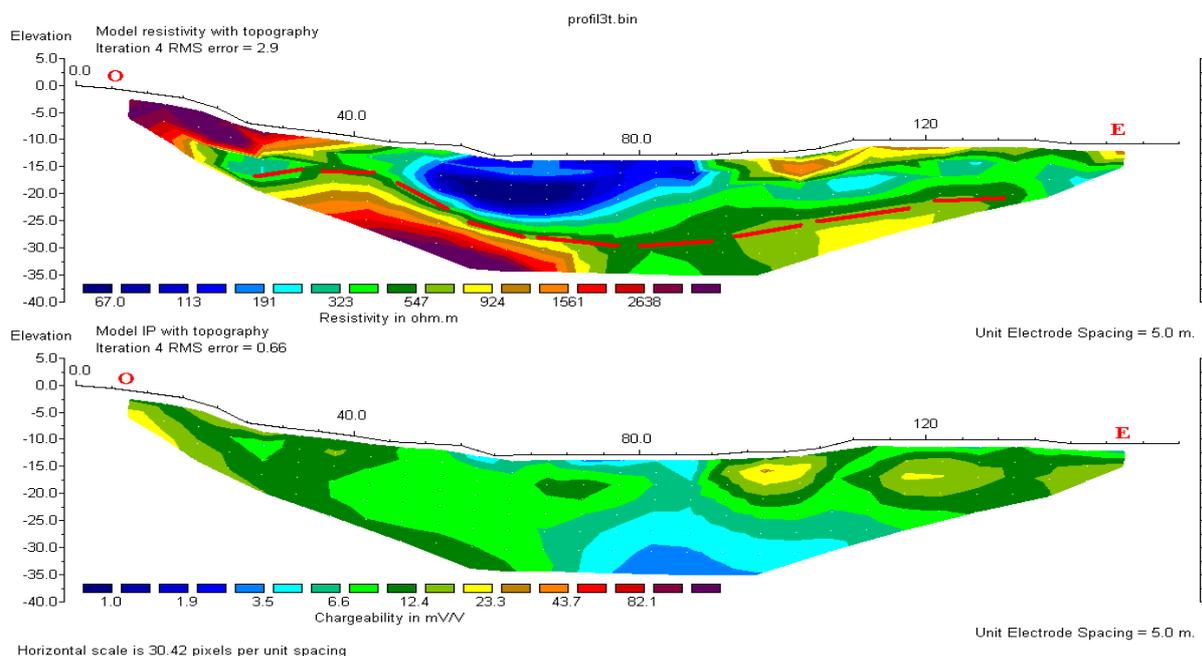


Figure III.2.11 : Coupe géoélectrique du profil 3b en 2D

### III.2.11 Coupe du profil 4b

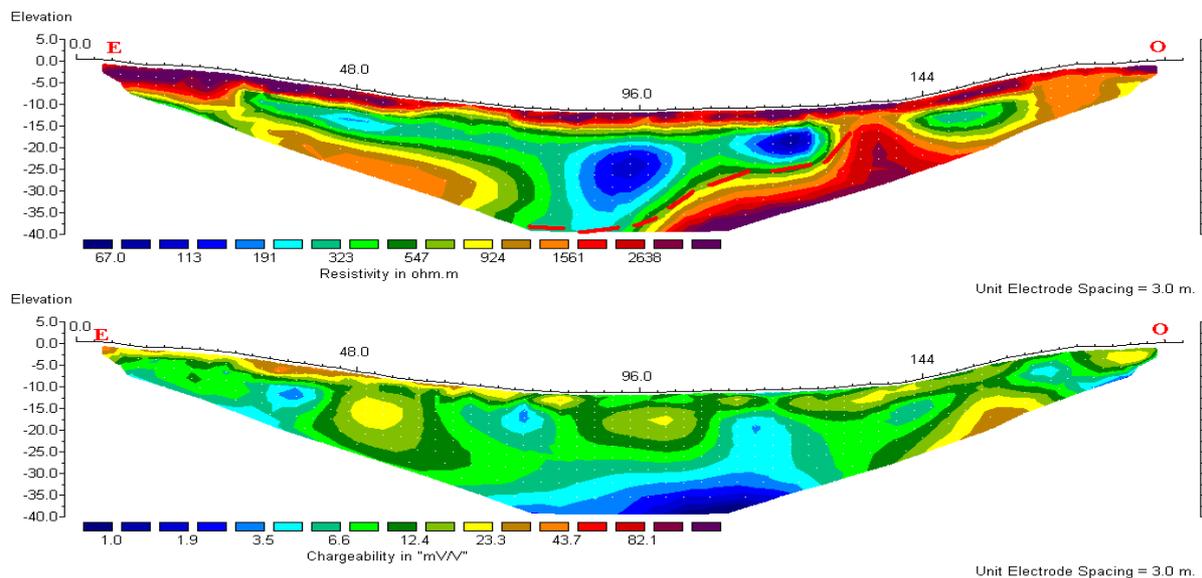
Dans ce panneau, la distance inter électrode est de 3m, soit une longueur de ligne de 192m, et a été prolongé de 32m. Il est réalisé dans le but de trouver le toit du substratum lors du profil 1b.

.La profondeur d'investigation atteint jusqu'à 35m. Ce profil est implanté proche, parallèlement du profil 1b (figure III.2.1). La coupe n'a fait que confirmer la formation obtenue avec le profil 1b.

L'épaisseur de la couverture latéritique augmente en allant vers l'Est. La roche saine s'abaisse de profondeur suivant une direction oblique et dont la base vers l'Est.

La zone saturée en eau constitue la formation électriquement conductrice, et reste stationnaire. Le substratum commence à être visible au-dessous de la nappe. Le toit du substratum est estimé à 25m au-dessous de la surface au centre du profil.

La coupe de chargeabilité montre que la zone conductrice correspond à la zone de porosité élevée. On pourrait dire qu'elle constitue à une nappe de fracture.



**Figure III.2.12 : Coupe géoélectrique du profil 4b en 2D**

### III.2.12 Coupe du profil 5b

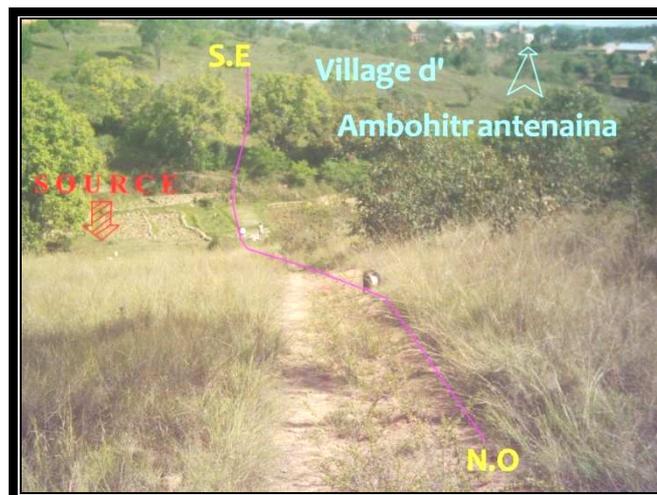
Le panneau 5b est implanté à l'Est de la zone d'étude. Il est toujours réalisé dans le but de trouver le point de captage. Son centre passe par la rizière qui est près d'une source en amont.

Nous avons une gamme de résistivité qui met en évidence trois couches de résistivité :

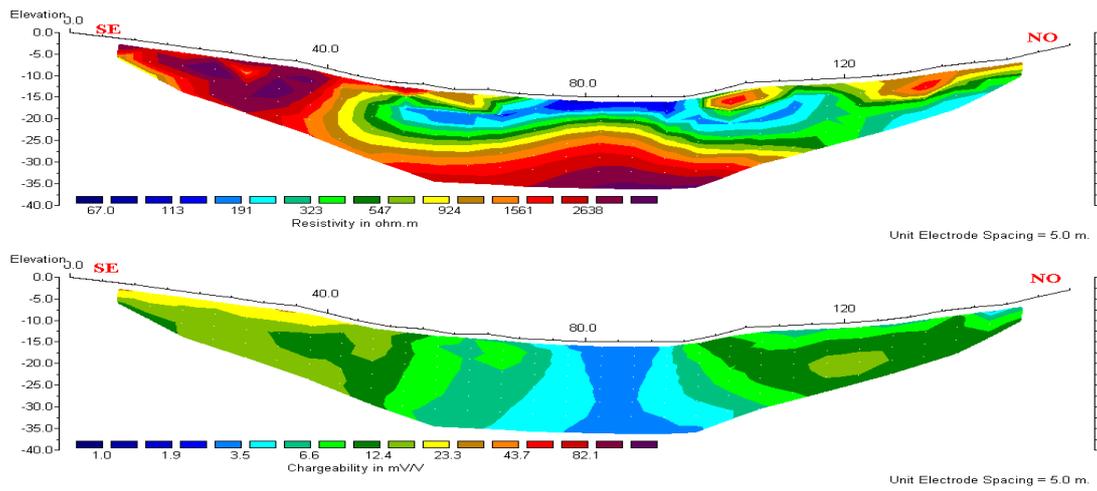
- Une première se répartie de la manière suivante :
  - Du début de ce panneau jusqu'au point d'abscisse 70m, nous avons une couche très résistante de l'ordre de  $2000\Omega.m$ . Elle atteint le fond de la coupe.
  - De l'abscisse 97m jusqu'à la fin de la coupe, la couche très résistante correspond à la latérite.
- La deuxième constitue la partie conductrice localisée au centre d'abscisse 70m jusqu'à l'abscisse 90m. Habituellement, elle est nommée nappe d'aquifère libre. L'existence de la source lui permet d'être visible en amont.

La couche résistante d'une valeur moyenne de résistivité  $700\Omega.m$  s'accumule aux couches précitées au centre. Elle est formée un substratum rocheux imperméable d'aquifère.

La nappe d'eau est moins volumineuse. Bref, l'aquifère est à faible puissance et le toit du socle, à notre avis est à faible profondeur. L'aquifère ne soit pas en conséquence intéressant.



*Figure III.2.5 : Photo profil du panneau 5b*



**Figure III.2.13 : Coupe géoélectrique du profil 5b en 2D**

---

## CONCLUSION

Les travaux effectués au sein de la société SGDM nous ont permis de familiariser la méthode de photo-interprétation et la mode de prospection électrique, en particulier le panneau électrique 2D. Ce dernier permet de déterminer certains paramètres concernant la géométrie d'une nappe aquifère (à savoir son épaisseur et sa profondeur) et d'avancer une estimation sur le volume (débit) minimale d'eau qu'elle contient.

Le site d'étude est une propriété privée sise à Tsarahonenana, dans le district d'Antananarivo Avaradrano. Le bilan hydrique indique l'existence de recharge de la nappe d'eau souterraine dans ce secteur.

Les travaux géophysiques sont implantés sur la formation cristalline, formée des roches métamorphiques gneiss micaschiste. Trois des linéaments observés après traitement de la photo aérienne passent dans ce secteur. Ces linéaments sont le lieu préférentiel de la circulation d'eau s'ils représentent une fracture, une fissure et / ou une faille ouverte.

Les résultats de la coupe des profils géoélectriques ont permis de confirmer la présence des linéaments repérés par analyse des photos aériennes.

Les profils étalés dans les vallées, ont mis en évidence un aquifère relativement épais, sauf dans le profil 5b. Mais, la valeur de chargabilité nous a permis de dire que la perméabilité hydraulique n'est pas vraiment bonne.

Dans le secteur Ouest où se trouve la propriétaire de ce site, nous avons proposé deux points de captages favorables. On note la présence probable d'une fracture qui est marqué dans les résultats des coupes géoélectriques du profil 4a. Et on propose de faire un forage allant jusqu'à 40m de profondeur à ce niveau. Et un autre point de captage est proposé sur la ligne du profil 6a, mais cette fois, on peut y aller jusqu'à 17m de profondeur.

Et dans le secteur Est hors de la propriété, la direction de la nappe d'eau suit la direction du linéament que l'on appelle ligne de partage. Nous proposons un point de captage sur cette ligne au près du profil 1b et elle peut produire un débit de l'ordre de  $3\text{m}^3/\text{h}$ .

Ces points localisés à partir des résultats de cette étude ne sont que des points les plus favorables. Le vrai débit ne connaît qu'après un essai de pompage.

## Annexe 1

### FORMULE DU BILAN HYDRIQUE

La précipitation constitue le principal flux entrant de l'aquifère, autre que l'alimentation transversale par les fleuves et les rivières pour un bassin déterminé, les quantités d'eau entrant et sortant peuvent être évaluées, et suivant la relation mathématique suivant.

$$P = R + ET + I + \Delta S$$

P = précipitation, la quantité d'eau accueillie pendant une période bien définie (mm).

I = infiltration, c'est le mouvement vertical de l'eau dans le sol sous l'effet de la gravité.

ET = évapotranspiration, quantité d'eau évaporé par le sol le plan d'eau libre et par les plantes quand le sol a une certaine humidité et les plantes a un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.

R = ruissellement, la quantité d'eau lors d'une précipitation qui échappe à l'infiltration et à l'évaporation.

$\Delta S$  = variation des réserves, variation des stockes pendant une période donnée.

### Déficit cumulé

- Si  $(P - ETP) > 0$ , il n'y a pas de déficit
- Si  $(P - ETP) < 0$  :
  - ❖ Le premier déficit cumulé est égal au premier  $(P - ETP) < 0$
  - ❖ Le second déficit cumulé est la somme du déficit précédent et le  $(P - ETP)$  du mois.

### Stock

- Si  $(P - ETP) > 0$ , le stock est pris égal à 100mm.
- Si  $(P - ETP) < 0$ , le stock est obtenue en fonction du déficit cumulé (à partir de la table en annexe).

Lorsque  $(P - ETP)$  redevient positif après une série de négatif, on ramène le stock à 100mm, en faisant la somme du  $(P - ETP)$  du mois et le stock du mois précédent.

S'il y a un surplus noté  $\Delta S$ , on a :

$$\Delta S = \text{stock du mois} - \text{stock du mois précédent}$$

**Evapotranspiration réelle**

- Si  $\Delta S \geq 0$  et  $(P - ETP) > 0$ , alors :  $ETR = ETP$
- Si  $\Delta S < 0$  et  $(P - ETP) < 0$ , alors  $ETR = P + |\Delta S|$

**Surplus (excédent)**

- Si  $(P - ETP) > 0$ , alors excédent =  $(P - ETP) - \Delta S$ .
- Si  $(P - ETP) > 0$ , il n'y a pas de surplus.

Après une série de  $(P - ETP) < 0$ , l'excédent va d'abord ramener le stock à 100mm, et on a  $(P - ETP) +$  dernier stock.

Si  $(P - ETP)$  est suffisant et apporte une valeur supérieur à 100mm, le complément de 100mm est égal à l'excédent positif.

## Annexe 2

### LA LOI D'OHM

La capacité des différents matériaux à conduire l'électricité a intrigué et préoccupé de nombreux chercheurs au 18<sup>ème</sup> et au début du 19<sup>ème</sup> siècle. En 1827, Georg Simon Ohm, inspiré par les travaux de Fourier et Poisson sur les transferts de chaleur, a présenté une base dérivée mathématiquement de quelques observations qualitatives des précédents chercheurs.

La « loi » d'Ohm établit que la magnitude d'un courant continu,  $I$ , à travers un élément conducteur, est proportionnelle au voltage traversant cet élément (potentiel conducteur). Dans une terminologie plus familière :

$$I = \frac{V}{R}$$

Où  $I$  = le courant, en Ampères

$V$  = le voltage en volts

$R$  = la résistance, en Ohms

La résistance,  $R$ , est une propriété de l'élément conducteur, et varié directement avec sa longueur et inversement avec sa section. Introduisons donc le coefficient de proportionnalité.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

L'inverse de la résistivité est appelée la conductivité, et est définie par :

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

Où  $\sigma$  = la conductivité,  $1/\text{Ohm.m} = \text{Siemens.m}^{-1}$  (SI)

La conductivité et la résistivité sont des propriétés intrinsèques du milieu conducteur.

## Annexe 3

### 1 Les sources

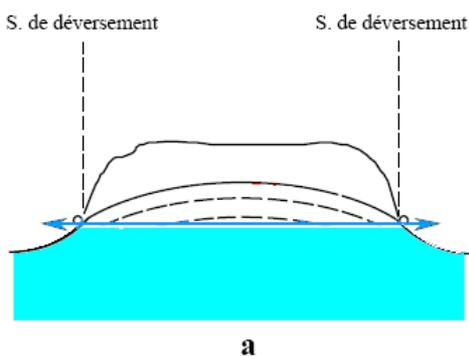
On rencontre une source ou une émergence lorsque, à l'affleurement du niveau aquifère, le niveau piézométrique est égal à la cote du sol.

Si la sortie de l'eau est contractée, il s'agit d'une source; le point de la sortie d'eau est appelé griffon de source. Si la sortie d'eau se fait sur une grande étendue, qu'il y a un suintement diffus, l'exutoire est une émergence.

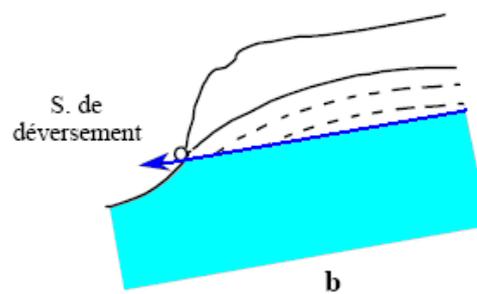
#### 1.1 Sources de déversement

La totalité des filets liquides se meut en amont de la source, au dessus du niveau de celle-ci.

Exemples :



*Figure A3.1: Nappe horizontale avec deux sources de déversement*

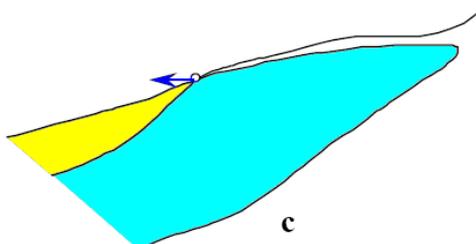


*Figure A3.2 : Nappe inclinée avec une source de déversement*

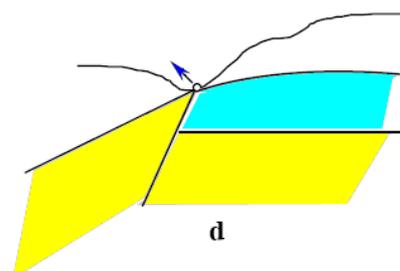
#### 1.2 Sources de débordement

Une partie au moins des filets liquides se meut en amont de la source, au dessous du niveau de celle-ci et l'eau se déplace dans le sens de pendage du terrain.

Exemples :



*Figure A3.3: Source de débordement en tête de nappe captive*

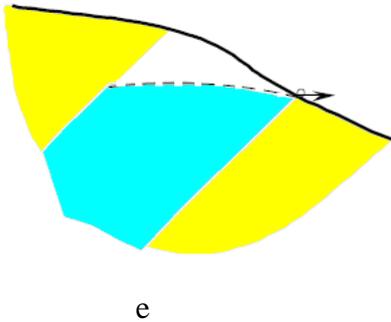


*Figure A3.4 : Source de débordement par faille*

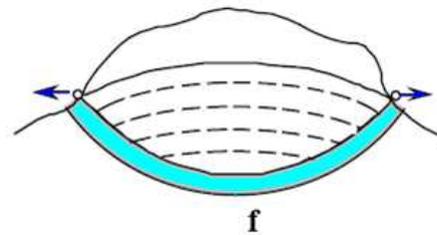
### 1.3 Sources de trop plein

Même définition que la source de débordement, mais l'eau circule à contre-pendage.

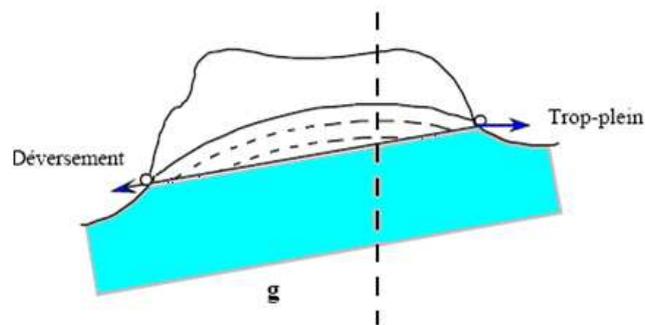
Exemple :



*Figure A3.5 : Source de trop-plein en tête de nappe captive*



*Figure A3.6 : Double source de trop-plein*



*Figure A3.7 : Source de déversement et nappe de trop-pleins joints*

## 2 Les exutoires cachés

Les exutoires cachés sont par exemple le déversement souterrain dans une autre nappe, l'alimentation du réseau de surface ou la drainance.

### Remarques :

- Nous n'avons mentionné ici que les exutoires naturels ; il peut exister des exutoires artificiels tels que forages pompés et drains.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BAKIS H, BONIN M. 2000. La photographie aérienne et spatiale, Paris, PUF, Que sais-je n°1700, 127p

DELUBAC Guy, RAKOTOARISON Walter, RANTOANINA Maurice, 1963. Etude géologique et prospection des feuilles Tananarive-Manjakandriana au 1/100.000: Ministère de l'Energie et des Mines.

DJOUHAR Youssouf, 2007. Potentialité en eaux souterraines dans trois fokontany de la commune rurale de Bongatsara (région Analamanga). Mémoire de fin d'étude de la MSTGA Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, 48p.

GAGNON, H. La photo aérienne: son interprétation dans les études de l'environnement et de l'aménagement du territoire, Montréal, Éditions HRW, 1974, 278p.

MOHAMED DJOUNEID Madihali, 2007. Etude hydrogéologique dans une localité située dans le Fokotany d'Antanambao. Mémoire de Maîtrise en Sciences et Techniques en Géophysique Appliquée, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, 46p.

RAKOTONDRAIBE J.H., 1983. Les eaux souterraines de Madagascar HY 733 Bibliothèque du Service de l'hydrogéologie à Ampandrinomby (Recueil de données).

SGDM ; 2007. Reconnaissance hydrogéologique et implantation de deux ouvrages d'exploitation d'eau souterraine sur le site d'Antanambao (Ambohimanga), rapport d'étude.

### **Site internet :**

[http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/stereo/chap7/chapter7\\_3\\_f.php](http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/stereo/chap7/chapter7_3_f.php) (15 Décembre 2007)

[http://www.cig.ensmp.fr/~thiry/pol\\_Mortagne\\_geophy/Mort\\_M03.htm](http://www.cig.ensmp.fr/~thiry/pol_Mortagne_geophy/Mort_M03.htm) (9 Décembre 2007)

<http://hydram.epfl.ch/e-drologie/general/index.html> (Novembre 2007)

---

**TABLE DES MATIERES**

INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE I :GENERALITE SUR LA ZONE D’ETUDE .....	2
I.1 Cadre géographique .....	3
I.2. Contexte géologique .....	4
I.3 Situation géomorphologique .....	4
I.4 Réseau hydrographique.....	6
I.5 Aperçues hydrogéologiques .....	6
I.6 Données climatiques .....	7
I.6.1 Précipitation .....	8
I.6.2 Température .....	9
I.6.3 Evaporation .....	9
I.6.4 Diagramme ombrothermique .....	11
I.6.5 Bilan hydrique.....	12
PARTIE II :THEORIE DE LA NAPPE SOUTERRAINE ET METHODOLOGIES .....	14
II.1 LA NAPPE SOUTERRAINE .....	15
II.1.1 Condition d’existence des nappes.....	15
II.1.1.1 Processus général.....	15
II.1.1.2 Facteurs d’existence d’une nappe .....	15
II.1.1.2.1 Cas d’une alimentation et d’une lithologie favorables .....	16
II.1.1.2.2 Cas d’une lithologie et d’une structure favorables : .....	16
II.1.1.2.3 Cas d’une alimentation et d’une structure favorables : .....	16
II.1.2 Alimentation .....	16
II.1.3 Exutoires .....	16
II.1.4 Nappe libre .....	17
II.1.4.1 Nappes perchées ou non soutenues.....	17
II.1.4.2 Nappes soutenues .....	17

---

II.1.5 Nappe captive .....	17
II.1.6 Aquifère à nappe semi captive.....	18
II.2 LA PHOTO INTERPRETATION.....	19
II.2.1 Les types de PA .....	19
II.2.2 Les qualités des PA.....	19
II.2.3 La prise de vue (PV).....	19
II.2.3.1 Echelle (E) .....	20
II.2.3.2 Format.....	21
II.2.3.3 La focale .....	21
II.2.4 Vision stéréoscopique.....	21
II.2.4.1 La vision binoculaire normale .....	21
II.2.4.2 La vision stéréoscopique .....	22
II.2.4.3 Les différents types de stéréoscopes.....	22
II.2.4.4 Mise en plan des P.A. ....	23
II.2.4.5 Les objets observés sur une photographie aérienne.....	24
II.2.4.6 Ce qu'on peut tirer des P. A. ....	25
II.3 METHODE DE PROSPECTION ELECTRIQUE.....	27
II.3.1 IMAGERIE PAR TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE .....	27
II.3.1.1 Acquisition des données .....	27
II.3.1.2 Traitement et interprétation des données.....	28
II.3.2 DISPOSITIF WENNER .....	30
II.3.3 APPAREILS DE MESURE .....	30
<b>PARTIE III : INTERPRETATION DES RESULTATS ET DISCUSSIONS</b>	
III.1 INTERPRETATION DE LA PHOTO AERIENNE.....	33
III.2 INTERPRETATION DES RESULTATS DU PANNEAUX ELECTRIQUES .....	36
III.2.1 Coupe du profil 1a.....	36
III.2.2 Coupe du profil 2a.....	37
III.2.3 Coupe du profil 3a.....	38

III.2.4 Coupe du profil 4a.....	39
III.2.5 Coupe du profil 5a.....	41
III.2.6 Coupe du profil 6a.....	42
III.2.7 Coupe du profil 7a.....	43
III.2.8 Coupe du profil 1b.....	43
III.2.9 Coupe du profil 2b.....	45
III.2.10 Coupe du profil 3b.....	46
III.2.11 Coupe du profil 4b.....	48
III.2.12 Coupe du profil 5b.....	49
CONCLUSION .....	51

# **ETUDE HYDROGEOLOGIQUE D'UN SITE SISE A TSARAHONENANA, COMMUNE RURALE DE TALATA VOLONONDRY**

## **RESUME**

L'alimentation, la lithologie favorable et la structure géologique d'un terrain étant les facteurs d'existence de la nappe d'eau souterraine. Les sources de déversement et de débordement furent la classification de la nappe; à savoir les critères géologique et hydrodynamique.

Ainsi l'étude générale de la zone relate aux données climatiques et étant faite à Tsarahonenana de la commune rurale de Talata Volonondry. Le but est de satisfaire le besoin en eau d'une propriété privée. Elle nécessite alors une méthodologie appropriée; à citer l'application de la photo-interprétation et de la prospection électrique.

Les résultats obtenus montrent l'existence d'une nappe libre et une nappe de fracture mais leur potentialité ne connaît qu'après un essai de pompage.

**Mots clés :** Nappe d'eau, photo-interprétation, méthode électrique, Tsarahonenana.

## **ABSTRACT**

Charging, favorable lithology and the geological structure being factors of the underground sheet of water. The sources of discharge and overflow were the sheet of water classification; such as geological criteria and hydrodynamic.

Thus the general study of the zone relate to climatic data and being made in rural district Tsarahonenana of Talata Volonondry. The goal is to satisfy the requirement out of water for a private property. It requires then an appropriate methodology; to quote electrical prospection and photo-interpretation application.

The results obtained show the existence of a free sheet of water and a sheet of water of fracture but their potentiality knows only after one test of pumping.

**Keywords:** sheet of water, photo-interpretation, electrical method, Tsarahonenana.