

# **CARACTERISATION DES MATERIAUX ET DE LA PUISSANCE DE LA PLAINE ALLUVIALE DE KARFIGUELA PAR DES INVESTIGATIONS GEOPHYSIQUES**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
MASTER D'INGENIERIE RESEAUX ET INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES  
OPTION : Eaux souterraines

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 21 juin 2013 par

**LAOUALI AMANI HALADOU**

**Travaux dirigés par : Nestor Fiacre COMPAORE**

Projet PADI BF-101

**Mahamadou KOITA**

Enseignant –chercheur à la fondation 2iE

CCREC

Jury d'évaluation du stage :

Président : M. Angelbert BIAOU

Membres et correcteurs : Dr. Mahamadou KOITA

M. Fiacre COMPAORE

M. Pierre GENTHON

M. Youssouf KOUSSOUBE

**Promotion 2012/2013**

*Je dédie ce présent mémoire à*

*Mon père Laouali Amani, grand travailleur, homme honnête et modeste, merci pour tout papa !*

*Ma mère Salamatou Maman N'argoungou, femme battante qui n'a jamais été avare de ses conseils !*

## TABLE DES MATIERES

<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>I</b>
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>III</b>
<b>RESUME .....</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>V</b>
<b>SIGLES ET ABREVIATIONS.....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>VIII</b>
<b>AVANT PROPOS.....</b>	<b>IX</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>I. GENERALITES.....</b>	<b>3</b>
<b>I.1. Présentation du site d'étude .....</b>	<b>3</b>
I.1.1. Situation géographique.....	3
I.1.2. Contexte géologique.....	4
I.1.3. Contexte hydrogéologique .....	6
I.1.4. Sols.....	6
I.1.5. Climat.....	6
I.1.6. Hydrographie.....	8
<b>I.2. Généralités sur les thématiques abordées .....</b>	<b>9</b>
I.2.1. La tomographie des résistivités électriques .....	9
I.2.2. Analyse granulométrique par tamisage .....	10
I.2.3. Le Diagnostic tactile de la texture .....	10
<b>II. MATERIELS ET METHODES .....</b>	<b>12</b>
<b>II.1. Matériels .....</b>	<b>12</b>
<b>II.2. Méthodes.....</b>	<b>13</b>
II.2.1. La Tomographie des résistivités électriques (ERT) .....	13
II.2.1.1. Principe de la mesure .....	13
II.2.1.2. Représentation des pseudo-sections. ....	17

Caractérisation des matériaux et de la puissance de la plaine alluviale de karfiguéla par des investigations géophysiques

---

II.1.2.3. Traitement et modélisation des données géophysiques.....	19
II.2.2. Le forage à la tarière .....	22
II.2.3. Analyse granulométrique par tamisage .....	24
<b>III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS .....</b>	<b>27</b>
<b>III.1. Résultats Tomographie et forage à la tarière .....</b>	<b>27</b>
III.1.1. Natures géologiques des matériaux de la plaine .....	27
III.1.2. Estimation et caractérisation de la puissance.....	40
III.1.3. Nature des limites de la plaine.....	43
<b>III.2. Résultats des analyses granulométriques par tamisage.....</b>	<b>44</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>50</b>

## REMERCIEMENTS

Au terme de cette étude, je voudrais exprimer ma profonde gratitude à tous ceux dont la disponibilité, le soutien et la contribution à divers niveaux m'ont aidé à la conception et à la réalisation de ce document. Ce sont :

- Monsieur Nestor Fiacre COMPAORE qui a supervisé ce travail. Je tiens à le remercier particulièrement non seulement pour m' avoir accordé ce stage mais aussi pour sa disponibilité et ses critiques pertinentes qui m'ont permis de mieux orienter cette étude ;
- Docteur Mahamadou KOITA qui est mon encadreur interne. Merci pour les critiques et suggestions qui m'ont permis de bien comprendre le sujet d'étude ;
- Monsieur Elie Serge Gaetan SAURET qui malgré son emploi du temps très chargé m'a été d'une grande aide dans la compréhension du problème et dans la rédaction du mémoire ;
- Monsieur Ahmed KAM, pour sa disponibilité et son expérience des SIG mis à notre disposition ;
- Monsieur Aboubacar DJIRE qui nous a assisté depuis la phase terrain jusqu'à la phase rédaction. Merci beaucoup DJIRE pour votre aide ;
- Monsieur Donissongou Dimitri SORO pour le suivi et les précieux conseils ;
- Monsieur Alfred BADO, qui nous a beaucoup aidés physiquement pendant la phase terrain ;
- Mes frères et sœurs Moussa, Nadia et Sahia pour le soutien moral ;
- Mes amis Zerbo, Armel et Betan, pour les remarques aussi pertinentes.

Enfin, que tous ceux qui de près ou de loin ont contribué d'une façon ou d'une autre à l'élaboration de ce mémoire, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

## RESUME

La présente étude a été menée sur la plaine alluviale de karfiguéla, dans l'extrême sud-ouest du Burkina Faso. Les objectifs principaux de cette étude sont : (1) la détermination et la caractérisation de la nature géologique des matériaux de la plaine et (2) la détermination et la caractérisation de la puissance moyenne de la plaine. Deux techniques d'investigation ont été utilisées pour cette étude : (i) La tomographie des résistivités électriques (ERT), et (ii) les sondages à la tarière (micro forages) .La première technique nous a permis d'obtenir la distribution des résistivités auxquelles sont attribuées la nature géologique des formations en place ainsi que leurs épaisseurs. La deuxième technique conduit à une observation directe de la tabulation et de la granulométrie des différentes couches qui constituent la plaine sur une profondeur donnée. Toutes les méthodes utilisées conduisent globalement aux mêmes résultats à la seule différence que la deuxième est beaucoup plus précise par rapport à la tabulation, et la nature réelle des couches géologiques. Trois principaux types de matériaux ont pu être déterminés : Une couche d'alluvion très argileuses avec une épaisseur dépassant parfois les vingt (20) mètres et constituant près de 67% des matériaux sur certain sites ; une arène sableuse et des graviers d'épaisseurs relativement faibles (environs 10 mètres) avec des proportions variant entre 10 et 30% selon les sites. L'épaisseur de la plaine varie aussi en fonction des sites : Dans le Nord-ouest elle est estimée à 23 ; 25 et 30 mètres respectivement sur trois sites différents ; à l'Ouest et au Sud la puissance varie entre 22 et 38 mètres avec des épaisseurs saturées variant d'une dizaine à une trentaine de mètres. Les limites de cette plaine au niveau des sites étudiées sont globalement des limites à flux nuls car constituées de Roche imperméables. La plaine repose sur un socle granodioritique très ancien et très altéré dont l'épaisseur de la zone altérée est d'environ 18 mètres.

L'ensemble des résultats obtenus serviront non seulement dans une modélisation éventuelle de la plaine mais contribueront aussi à détecter les zones potentielles dans l'aquifère alluvial en terme de productivité.

### Mots Clés :

---

- 1 – Caractérisation des épaisseurs ;
- 2 - Plaine alluviale ;
- 3 – Tomographie électrique;
- 4 – Forage à la tarière;
- 5 – Analyse granulométrique.

## **ABSTRACT**

The present study was led on the alluvial plain of karfiguéla, in the southwestern of Burkina Faso. The main objectives of this study are: (1) the determination and the characterization of the geologic nature of the materials of the plain and (2) the determination and the characterization of the power averages of the plain.

Two techniques of investigation were used for this study: i) The tomography of the electric resistivities (ERT), and ii) the boring in the auger. The first technique allowed us to obtain the distribution of the resistivities to which are attributed the geologic nature of the formations ready as well as their thicknesses. The second technique leads to a direct observation of the tabulation and the size grading of the various layers which constitute the plain on a given depth. All the used methods lead globally to the same results in the only difference as the second is much more precise with regard to the stratigraphy, and the real nature of the geological layers. Three main clauses groups of materials were able to be determined: A very clayey layer of alluvium with a thickness sometimes exceeding twenty ( 20 ) meters and constituting about 67 % of materials on certain sites; a sandy arena and gravels of relatively weak thicknesses (neighborhood 10 meters) with proportions varying between 10 and 30 % according to sites. The power of the plain also varies according to sites: In the Northwest it is estimate at 23; 25 and 30 meters respectively on three different sites; on the West and in the South the power varies between 22 and 38 meters with saturated thicknesses varying of about ten in around thirty meters. The limits of this plain at the level of sites studied are globally limits with invalid zero flows because constituted by Impermeable rocks. The plain bases on an very old and very distorted granodioritique base whose thickness of the altered zone is of neighborhood 18 meters.

All the obtained results will serve not only in a possible modelling of the plain but will also contribute to detect the potential zones in the alluvial aquifer in term of productivity.

### **Key words:**

---

1 – Characterization of the thickness;

2 - Alluvial Plain ;

3 – Electrical tomography;

4 – Drilling in the auger;

5 – Grading analysis.

## **SIGLES ET ABREVIATIONS**

**2iE** : Institut International d'ingénierie de l'eau et de l'Environnement

**APEFE** : Association pour la Promotion de l'Education et de la Formation à l'Etranger

**BRGM** : Bureau de Recherche Géologique et Minière

**CCREC** : Centre commun de recherche eau et climat

**CNID-B** : Comité National d'Irrigation et du Drainage du Burkina

**DGH** : Direction Générale de l'Hydraulique

**DGRE** : Direction Générale des Ressources en Eau

**ECOWAP** : Politique Agricole de la Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest

**ERT** : Electrical Resistivity Tomography

**GIRE** : Gestion intégrée des ressources en eaux

**ONU** : Organisation des Nations Unies

**PADI** : Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation

**PIB** : Produit Intérieur Brut

**PZRG** : Piézomètre Rive Gauche

**PZRD** : Piézomètre Rive Droite

**RMS** : Root –Mean- Squared

**SONABEL** : Société National Burkinabé d'Electricité

**SN SOSUCO** : Nouvelle Société Sucrière de la Comoé

**VREO** : Programme de Valorisation des Ressources en Eau de l'Ouest du Burkina

**WBI** : Wallonie-Bruxelles International

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Ressources totales en eau souterraine du bassin de la Comoé en million de m <sup>3</sup> .....	6
Tableau II: Gamme de résistivité électrique .....	18
Tableau III: Choix d'échantillons à analyser par tamisage.....	24
Tableau IV: Interprétation du coefficient d'uniformité.....	25
Tableau V: Epaisseurs des principales couches géologiques et puissance de la plaine par site .....	40
Tableau VI: Epaisseurs saturées et non saturées de la plaine.....	42
Tableau VII: Nature géologique des limites de la plaine .....	44

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de la situation géographique du site d'étude .....	3
Figure 2: Grès de kawara Sindou folié (A), grès de Kawara Sindou sain (B).....	5
Figure 3: Géologie de la zone d'étude .....	5
Figure 4: Variation des pluies annuelles au cours des dix dernières années .....	7
Figure 5: Variation des pluies pour l'année 2012.....	7
Figure 6: Réseau hydrographique de la plaine alluviale de karfiguéla.....	9
Figure 7: Carte de répartition des profils ERT .....	13
Figure 8: Dispositif d'électrodes pour la prospection électrique .....	14
Figure 9: Schéma de la profondeur d'investigation en fonction de la géométrie du dispositif.....	14
Figure 10: site de mesure n°7 à Tangrela ( droite ); site de mesure n°2 situé au niveau des cascades ( gauche) 15	
Figure 11: configuration wenner .....	15
Figure 12: Représentation de l'arrangement des électrodes pour une acquisition en dispositif Wenner avec les différents niveaux d'acquisition .....	16
Figure 13: Valeurs calculées des résistivités apparentes provoquées par un modèle simple avec le dispositif wenner .....	17
Figure 14: Profil géophysique en résistivités apparentes mesurées (en haut), recalculées par le logiciel d'inversion (au centre) et vraies en bas.....	18
Figure 15: Représentation géométrique des mesures aberrantes dans les fichiers d'acquisition .....	20
Figure 16: Représentation des blocs et points de mesure servant à l'inversion .....	22
Figure 17: Forage à la tarière .....	22
Figure 18: coupe technique des micro-piézomètres .....	23
Figure 19: Textural classes .....	26
Figure 20: Modèle inversé de résistivité électrique du profil LR00093 .....	27
Figure 21: Coupe lithologique du profil LR00093 .....	27
Figure 22: coupe stratigraphiques des forages PZRG21 et PZRG22 .....	29
Figure 23: Modèle de résistivité électrique des profils LR00094 et LR00096.....	30
Figure 24: coupe lithologique des modèles LR00094 et LR00096 .....	32
Figure 25 : coupe stratigraphique des forages PZRD1 et PZRG07 .....	33
Figure 26: modèle de résistivité électrique des profils LR106 et 107 .....	34
Figure 27: coupe lithologique des modèles LR106 et 107 .....	35
Figure 28 : coupe stratigraphique des forages PZRDG et PZRDF.....	36
Figure 29: modèles de résistivité électrique des profils LR00098 et LR102.....	37
Figure 30: Coupes lithologiques des modèles LR00098 et LR102 .....	38
Figure 31 : Coupes stratigraphiques des forages pzrdx4 et pzrdx8 .....	39
Figure 32: Distribution des matériaux verticalement dans la plaine .....	41
Figure 33: Modèle conceptuel 3D de la plaine.....	42
Figure 34: Modèles étendus des profils LR102 en haut et LR98 en bas. ....	43
Figure 35: Résultat analyse granulométrique, sondage PZRG13_ profondeur 2 mètres.....	45
Figure 36: Résultat analyse granulométrique sondage PZRDX6- profondeur 3 mètres .....	46
Figure 37: Résultat analyse granulométrique, sondage PZRDA_ profondeur 2.5 mètres.....	47

## Avant propos

Dans la perspective d'apporter des réponses à la question de sécurité alimentaire au Burkina Faso, le Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation (PADI) qui est un programme de coopération entre le royaume de Belgique et le Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique du Burkina a été institué avec pour mission de :

- Contribuer à la satisfaction des besoins alimentaires et de la petite industrie locale à partir des produits agricoles, y inclus ceux de l'élevage et de la pêche ;
- Contribuer à la lutte contre la pauvreté à travers l'accroissement de l'emploi et des revenus de toutes les couches de la population ;
- Contribuer à la promouvoir d'une gestion et exploitation durable des ressources naturelles,
- Contribuer à l'équilibre entre les différentes régions du Burkina Faso, certaines étant plus propices que d'autres pour les cultures pluviales ou de bas-fonds, et à l'accroissement de la part du secteur agricole dans le volume des exportations du pays.

Le résultat N°1 du programme dénommé projet PADI/BF 101 est axé sur le point 4 et couvre les régions des Hauts Bassins, des Cascades et du Plateau Central. L'objectif assigné à ce résultat N°1 est de concevoir et mettre en œuvre des outils opérationnels de gestion des eaux souterraines pour l'agriculture irriguée dans lesdites régions.

Ce projet PADI/BF 101 se déroule en trois phases sur trois ans qui s'étale de janvier 2011 à décembre 2013. Son financement est assuré conjointement par deux bailleurs de fonds :

- Wallonie-Bruxelles International (WBI) et ;
- l'Association pour la Promotion de l'Education et de la Formation à l'Etranger (APEFE).

L'objectif de ce programme est :

- D'améliorer les connaissances sur les potentialités des aquifères superficiels au profit de la petite et moyenne irrigation ;
- D'évaluer l'impact quantitatif et qualitatif de l'agriculture irriguée sur les ressources en eau souterraine ;
- D'identifier les techniques et technologies appropriées de mobilisation des ressources en eaux souterraines

## Introduction

Le changement climatique couplé à la démographie galopante engendre une pression sur les ressources en eau dans le monde. Les zones arides et semi-arides sont les plus exposées, dans la mesure où elles enregistrent une faible pluviosité et abritent une part importante de la population mondiale (Green Facts, 2006 ; ONU, 2008). Au Burkina Faso, l'évaluation des ressources en eau renouvelable est estimée à 852 m<sup>3</sup>/an/habitant alors que le seuil de pénurie est évalué à 1000 m<sup>3</sup>/an/habitant (GIRE, 2001). Le Burkina est donc déficitaire au sens de la gestion durable des ressources en eau. La consommation d'eau est fonction des activités agricoles, industrielles, domestiques et d'élevage. De toutes ces fonctions, l'agriculture est de loin, l'industrie la plus consommatrice d'eau. Elle représente 64% de la demande globale en eau au Burkina Faso et une grande partie de cette demande est satisfaite à partir des eaux de surface pourtant menacées par le tarissement rapide en saison sèche (DGH, 2001). Ce facteur amène beaucoup de cultivateurs à se tourner vers les eaux souterraines qui deviennent de plus en plus exploitées. Le potentiel des terres irrigables du Burkina est estimé à 233500 ha (ECOWAP, 2006). L'irrigation est principalement développée sur les plaines à proximité des cours d'eau. Les plaines les plus irriguées sont localisées dans les régions des Haut-Bassins, des Cascades et du Centre Ouest. Le secteur agricole occupe 40% du PIB national (NEPAD-OCDE, 2010). Vu l'importance de ce secteur dans l'économie du pays et vu la place que se font les eaux souterraines dans cette activité, il s'avère impératif de développer des stratégies de gestion de la ressource afin de garantir son utilisation rationnelle pour un accroissement considérable de la production agricole. La maîtrise de cette ressource en eau souterraine passe par la connaissance des caractéristiques du milieu dans lequel elle se trouve (BRGM, 2008).

Les études réalisées au Projet PADI BF 101, rentrent dans cette perspective. Il s'agit en effet de quantifier la ressource en eaux souterraines de la plaine alluviale de Karfiguéla par la connaissance du milieu aquifère à travers la caractérisation de ses matériaux et l'estimation de sa puissance. **L'objectif global** de cette étude est d'améliorer les connaissances sur les potentialités des aquifères superficiels au profit de la petite et moyenne irrigation. **Spécifiquement** nous allons:

- Etudier à partir de plusieurs mesures géophysiques de type ERT, les variations de résistivités aux quelles sont associées la nature géologique des matériaux qui constituent la plaine alluviale ;
- Nous déterminerons également la puissance et les épaisseurs des zones saturées et non-saturées de la plaine connaissant le niveau piézométrique moyen de la zone ;

- Une caractérisation plus poussée sera faite par analyse granulométrique des matériaux de la zone saturée afin d'avoir une idée de la distribution des grains de différents diamètres ;
- A partir des modèles inversés de résistivités électriques nous établirons des coupes lithologiques qui mettrons en évidence les strates ainsi que leurs épaisseurs depuis la surface topographique jusqu'au bedrock.

Le présent mémoire s'articule autour de trois (3) grandes parties dont :

- Une première partie consacrée aux généralités ;
- Une deuxième partie qui traitera de la méthodologie d'acquisition et de traitement des données ;
- Et une troisième partie pour la présentation des résultats ainsi que leurs interprétations.

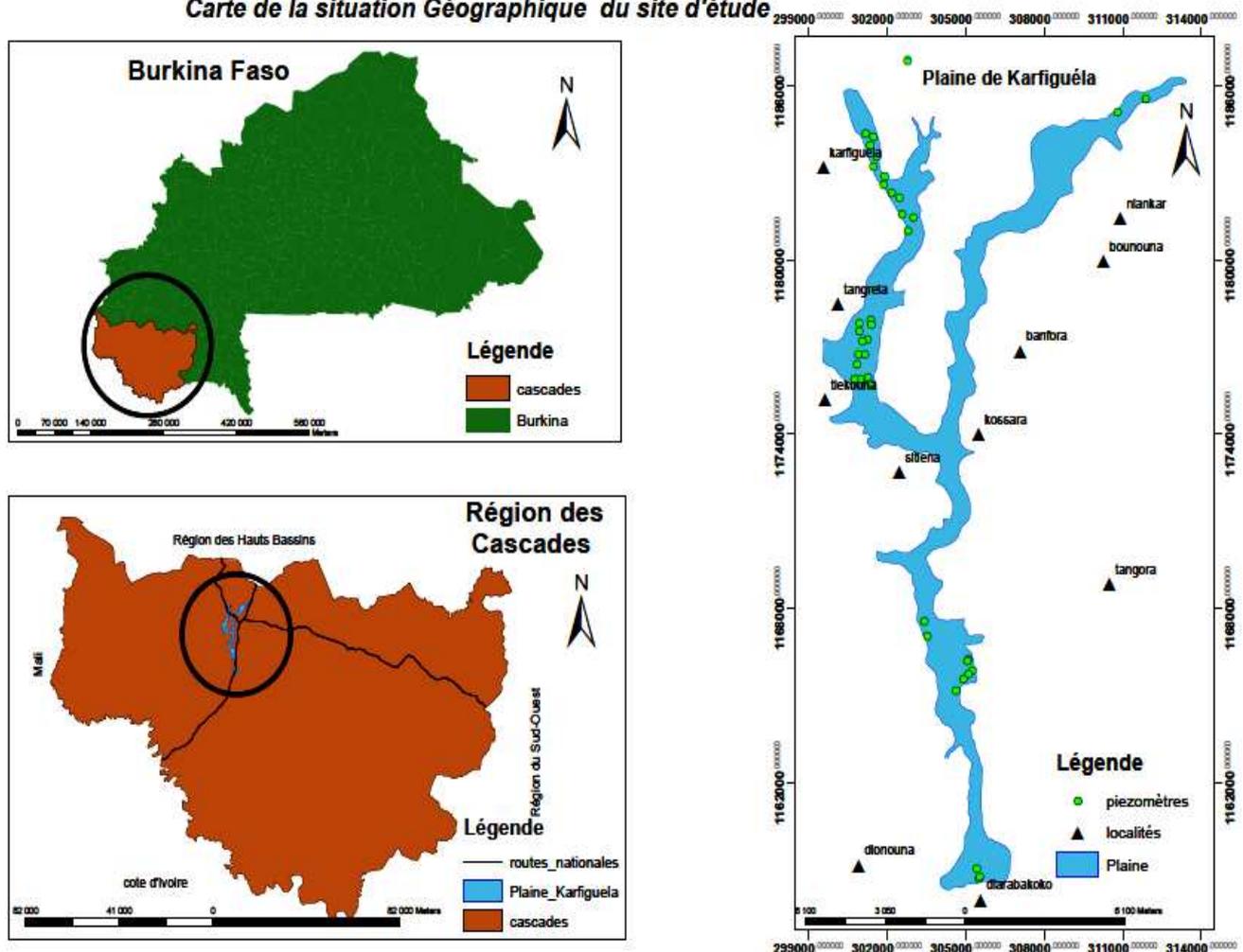
## I. Généralités

### I.1. Présentation du site d'étude

#### I.1.1. Situation géographique

La zone d'étude est la plaine alluviale de Karfiguéla. Elle est située à l'extrême Sud-ouest du Burkina Faso dans la province de la Comoé dont le chef-lieu est Banfora (figure1). Cette plaine est localisée approximativement entre 10°42'00'' de latitude Nord et 4°49'00'' de longitude Ouest (CNID-B, 2009). La plaine a une superficie d'environ 4580 ha répartie entre les localités de Karfiguéla, Tangréla, Nafona, Lémouroudougou, Kribina-Lèna, Tiékouna, Niankar, Bounouna, Kossara, Diarabakoko Sitiéna et Banfora.

Carte de la situation Géographique du site d'étude



### I.1.2. Contexte géologique

La plaine de Karfiguéla est caractérisée par cinq (5) groupes de formation géologique (figure 3) : Ce sont la formation de Kawara Sindou, la formation des grès inférieurs, la formation des schistes et volcano-sédiments, la formation des granodiorites et le groupe Tonalitique.

**Les grès de Kawara sindou** (60 à 350m d'épaisseur) reposent sur le grès inférieur ou directement sur le socle. C'est une formation constituée de grès quartzite très fin à la base et de grès grossier au dessus (figure 2). Elle est caractérisée par une stratigraphie oblique et la présence d'abondante ride de vague (Hugot, 2002) ;

**Les grès inférieurs** (50 à 300m d'épaisseur) reposent en discordance sur le socle. La formation est constituée successivement de la base au sommet de grès rouge fin, de grès quartzite fin et de grès rouge à débit schisteux (Hugot, 2002) ;

**Les schistes et volcano-sédiments** : Ces roches présentent une certaine complexité. En effet, à l'altération, elles peuvent être difficiles à différencier avec les roches andésitiques schistosées et altérées. Globalement, il s'agit de pélites, de schistes gréseux, de schistes lustrés gris-noir, des schistes tuffacés ainsi que de rares horizons quartzitiques (Ouedraogo, 2008) ;

**Les granodiorites** sont des roches grenues, mésocrates à minéraux relativement riches en ferromagnésiens et feldspaths (Hugot, 2002). Elles constituent la majeure partie du socle au niveau de notre site d'étude ;

**Le groupe des Tonalites** : Il comprend un certain nombre de faciès de composition allant de la granodiorite à la tonalite et la diorite quartzifère. Ces roches sont globalement très voisines. Elles sont de grain moyen à grossier, présentant une fabrique planaire ou une foliation gneissique nette. Localement, un rubanement est associé à la foliation et donne à la roche un aspect de migmatite. Elles sont généralement recoupées par des filons d'aplite ou de pegmatite. Dans ces roches le plagioclase prédomine ; le feldspath potassique, le quartz, l'amphibole et la biotite sont moins abondants (Ouedraogo, 2008).

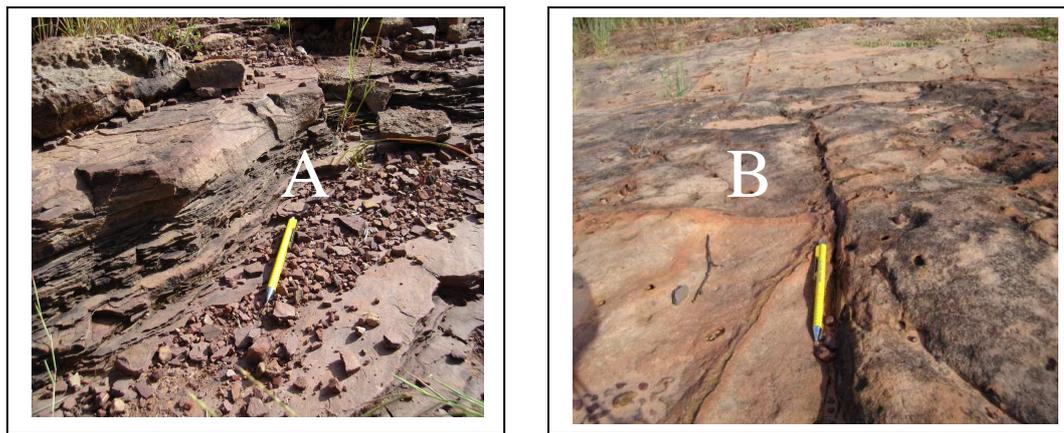


Figure 2: Grès de kawara Sindou folié (A), grès de Kawara Sindou sain (B)

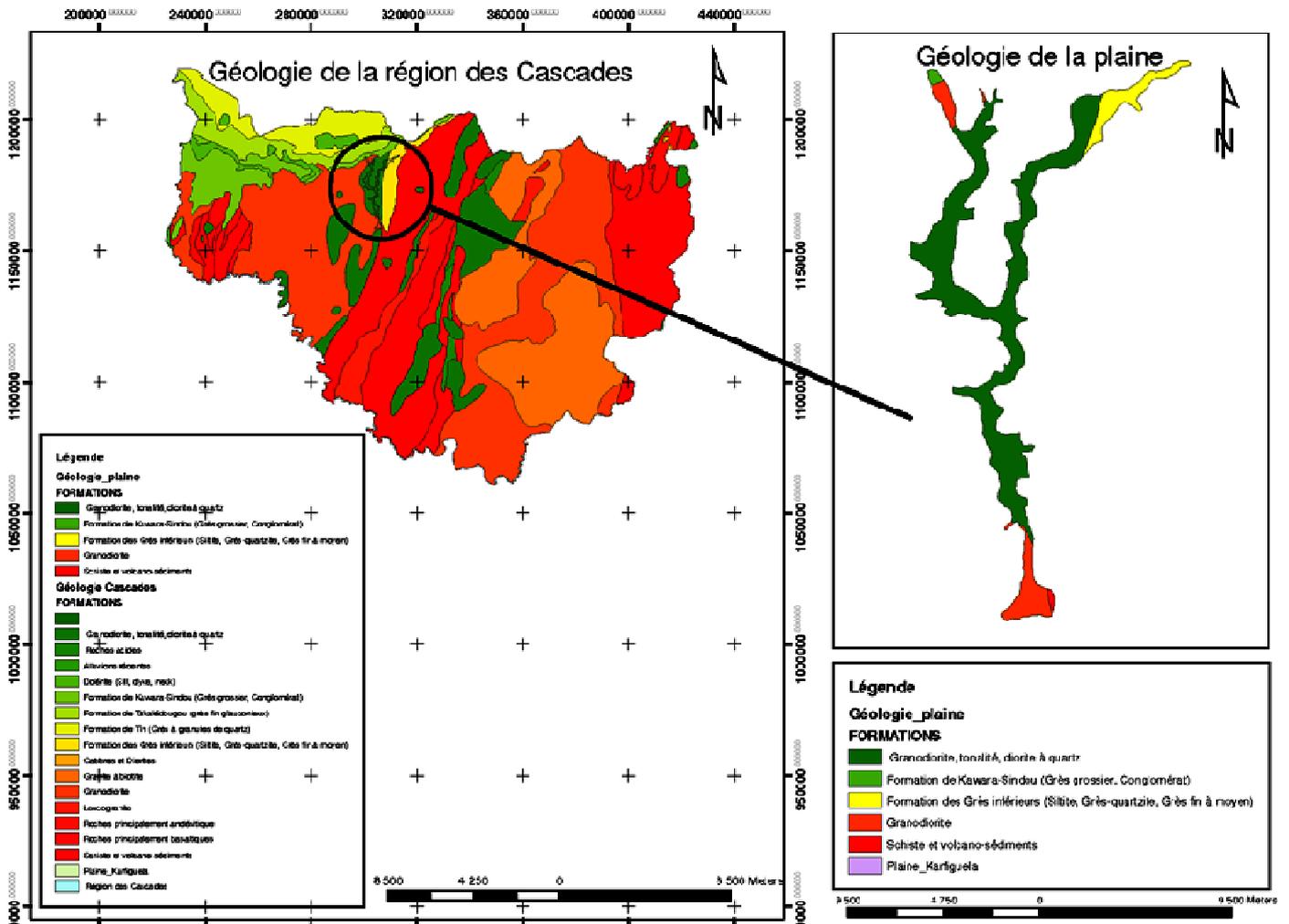


Figure 3: Géologie de la zone d'étude (SIG VREO, 2008 ; SIG PADI BF\_101, 2013)

### I.1.3. Contexte hydrogéologique

Des études hydrogéologiques faites par le programme RESO en 1998 permettent d'affecter un ordre de grandeur aux ressources totales en eaux souterraines dans le bassin versant de la Comoé où se situe notre zone d'étude (Tableau I). Ces études montrent que la répartition des réserves aquifères est très inégale. En effet la zone sédimentaire qui couvre 20% du bassin renferme plus de la moitié des réserves aquifères. L'eau utile renouvelable par infiltration est estimée à 2530 millions de m<sup>3</sup> soit 13.3% du volume annuel des précipitations (RESO, 1998).

Tableau I: Ressources totales en eau souterraine du bassin de la Comoé en million de m<sup>3</sup> (RESO, 1998)

Sous-bassin	Zone sédimentaire	Zone de socle	Alluvions	Altérites	Total
Haute Comoé	25635	12370	90	96945	47740
Léraba	19985	5295	40	6910	32230
Koudoun	0	1560	10	0	1570
Baoué	0	2000	10	1480	3490
Iroungou	0	1170	10	1870	3050
Total	45620	22395	160	19905	88080

### I.1.4. Sols

Selon les critères de profondeur et de position physiographique, la région des Cascades se compose de divers types de sols. Au niveau de la plaine de Karfiguéla, les sols sont généralement profonds de type ferrugineux tropical (PADI, 2013). La diversité de ces sols est sans nul doute, un énorme potentiel pour l'activité agricole dans la zone. Les sols sont en majorité légers et sensibles à l'érosion qui est accélérée par l'action anthropique (les systèmes de production extensifs ; la coupe abusive du bois de chauffe; l'occupation anarchique des terres).

### I.1.5. Climat

La plaine de Karfiguéla appartient au climat tropical de type sud-soudanien. Ce climat est défini par une saison sèche allant de Novembre à Mars et une saison pluvieuse d'Avril à Octobre (Fontès et Guinko, 1995). Durant les dix dernières années, la pluviométrie moyenne annuelle de la zone était de 1047 mm ± 73 mm (Figure 4).

Pour l'année 2012 la quantité d'eau tombée était de 1145.2 mm répartie en 76 jours. Le mois de juillet a été le mois le plus pluvieux avec 256,9 mm d'eau (Figure 5).

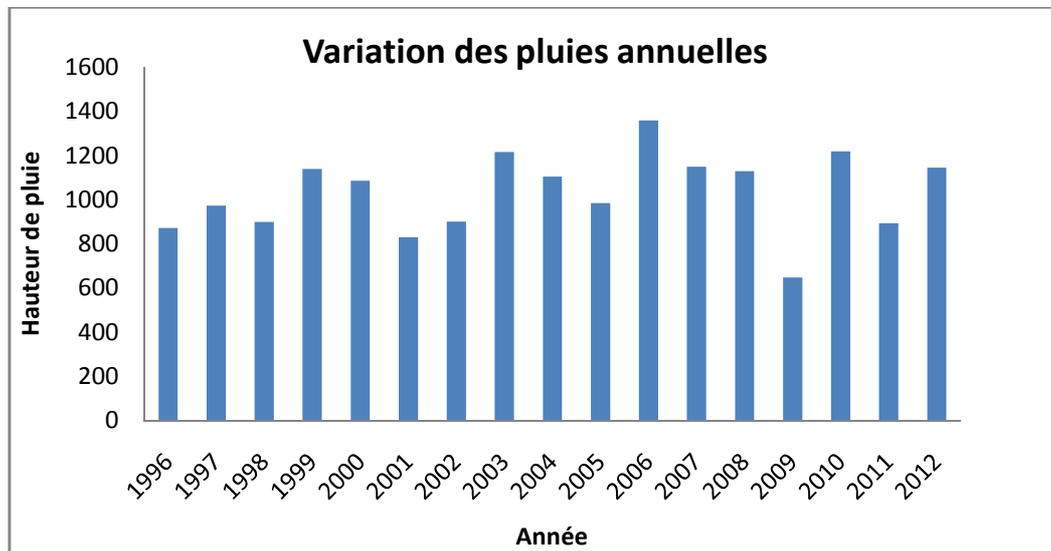


Figure 4: Variation des pluies annuelles au cours des dix dernières années

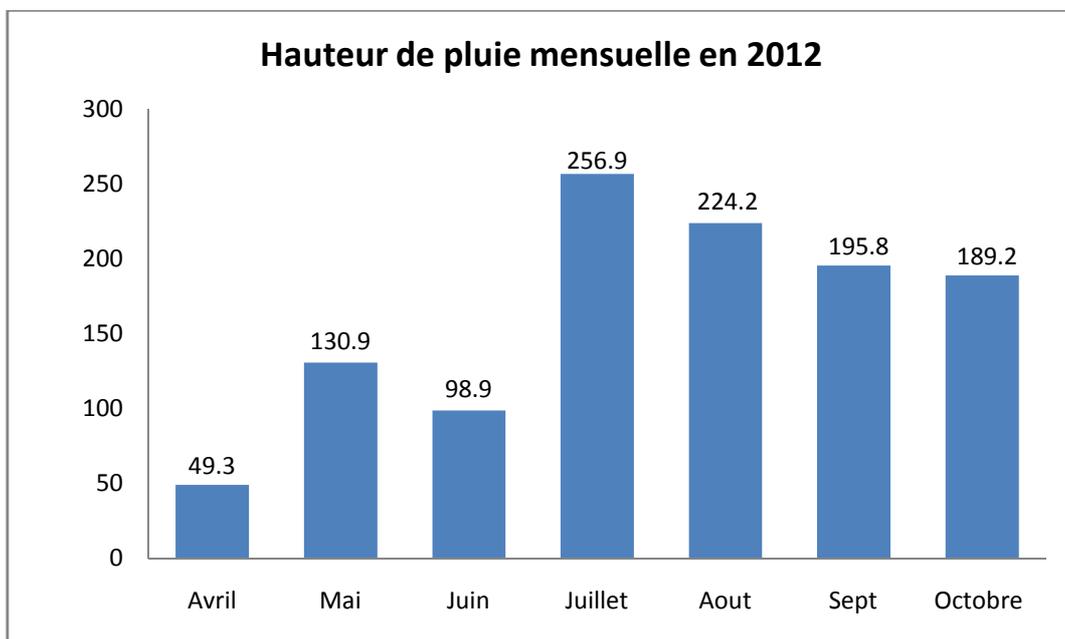


Figure 5: Variation des pluies pour l'année 2012

### I.1.6. Hydrographie

Le fleuve Comoé est le seul cours d'eau pérenne de la région. La Comoé est l'un des grands fleuves d'Afrique Occidentale. La superficie totale de son bassin versant à l'embouchure est de 76 500 km<sup>2</sup> ; il s'étend sur le Mali, le Burkina Faso et la Côte-d'Ivoire. La portion Burkinabè de ce bassin international (17 590 km<sup>2</sup>) est répartie entre les provinces de la Comoé, de la Léraba, du Houet, du Kéné Dougou et du Poni. Elle comprend cinq (5) sous-bassins qui sont :

- La Léraba, cours d'eau pérenne ;
- La Comoé, cours d'eau pérenne ;
- Le Kodoun, cours d'eau temporaire ;
- Le Baoué, cours d'eau temporaire ;
- L'Iringou, cours d'eau temporaire.

La figure 6 suivante montre le réseau hydrographique de la plaine alluviale, il s'agit d'une petite partie du grand fleuve comoé.

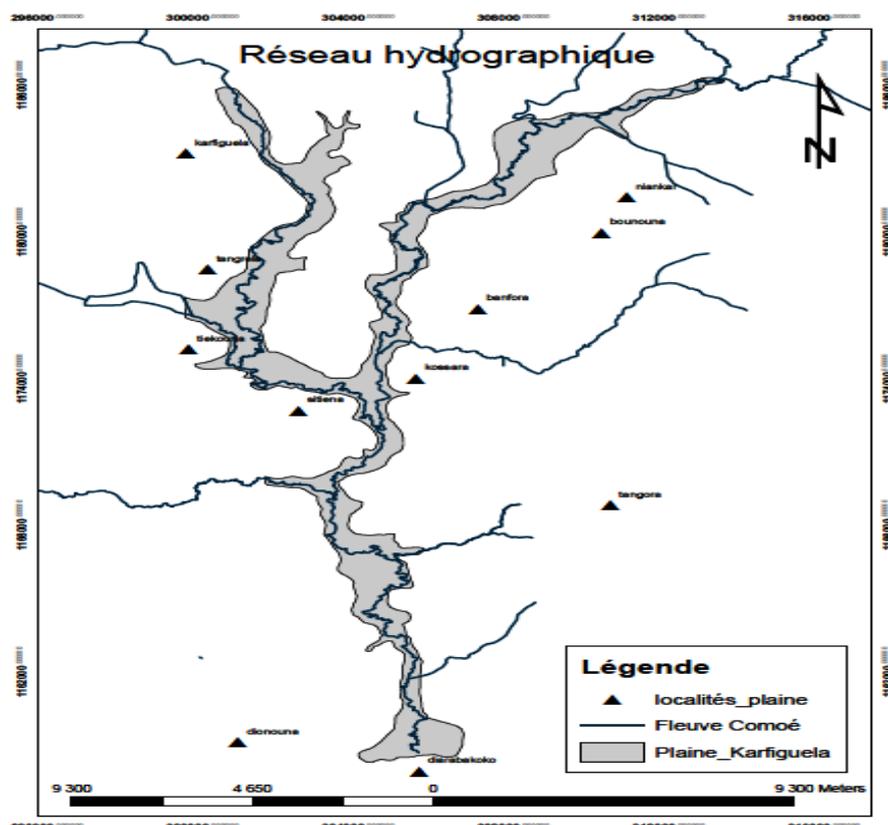


Figure 6: Réseau hydrographique de la plaine alluviale de karfiguéla

## I.2. Généralités sur les thématiques abordées

La plaine alluviale est constituée par des alluvions (sédiments généralement anciens, incluant divers débris et matériaux) déposées lors des crues du cours d'eau durant des âges géologiques. Lorsque ces dépôts constituent un aquifère alluviale, on parle alors de puissance de la nappe qui est constituée de plusieurs strates caractérisées par leurs natures et leurs épaisseurs. La caractérisation des matériaux et de la puissance de la plaine consistera alors à déterminer la texture ainsi que l'épaisseur des différentes couches depuis la surface topographique jusqu'au socle. La détermination de la nature et de l'épaisseur de la plaine alluviale intervient non seulement dans la quantification de la nappe alluviale mais également dans la régulation de la réserve en eau de la zone fissurée.

### I.2.1. La tomographie des résistivités électriques

La tomographie électrique, ou imagerie électrique, est la mesure de la résistivité électrique du sous sol selon un profil linéaire composé d'électrodes d'injection. Cette technique permet d'obtenir une coupe verticale de la géologie du sous-sol au droit du profil. La durée d'acquisition sur un profil composé de 64 électrodes est d'environ une heure trente, plus le temps d'installation du dispositif à peu près équivalent. L'acquisition terminée, les données sont ensuite transférées sur un ordinateur pour être traitées. On obtient alors une image du sous-sol en termes de "résistivités vraies", laquelle est interprétable géologiquement. Cette interprétation peut être une caractérisation comme dans le cas de notre étude. La Caractérisation par la tomographie a fait l'objet de plusieurs études dont les résultats ont été satisfaisants (SAURET, 2009 ; RENTIER, 1996).

La résistivité électrique mesurée dépend d'un grand nombre de paramètres qui rendent son interprétation parfois délicate sans le recours à des informations ponctuelles de type forage/sondage de sols. Elle dépend essentiellement de la teneur en eau, de la minéralisation de l'eau, et de l'argilosité de la roche. Dans des carbonates fracturés, celle-ci dépend fortement du degré de fracturation. En outre, la présence de conducteurs métalliques près de la surface du sol (conduites enterrées, pipes, réseaux électriques, ferraillements de structures en béton armé, grillages ancrés au sol) peut considérablement dégrader la qualité des mesures. En fonction de la profondeur d'investigation souhaitée et des objectifs à atteindre, plusieurs protocoles d'acquisition existent: Wenner, Schlumberger, Pôle-Dipôle,

Pôle-Pôle pour ne citer que les principaux. Ils diffèrent entre eux par la disposition du dipôle d'injection (AB) et du dipôle de mesure (MN)

### **I.2.2. Analyse granulométrique par tamisage**

Le sol est un mélange de grains de formes et de tailles différentes. L'*analyse granulométrique* a pour objet de déterminer la distribution en poids des *particules* suivant leurs dimensions. Cette classification permet l'identification du matériau et prévoit quelques propriétés du sol. A partir de l'analyse granulométrique on peut juger si un sédiment a été remanié ou non, s'il résulte d'un mélange de plusieurs phases granulométriques, déposées suivant différents processus de transport. La connaissance de la granulométrie permet de déterminer la porosité et la perméabilité des matériaux (Chapuis, 2008 ; Vukovic et Soro, 1992 ; Kasenow, 2002).

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes sont retenues :

**Analyse granulométrique par tamisage** : Ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant l'échantillon.

**Dimension nominale d'ouverture d'un tamis  $d$**  : Dimension caractéristique de la maille carrée de côté  $d$ .

**Refus sur un tamis** : Partie du matériau retenu sur un tamis.

**Tamisât ou passant** : Partie du matériau passant à travers les mailles d'un tamis.

**Pourcentage massique de refus** : Rapport exprimé en pourcentage de la masse de matériau sec retenu par un tamis d'ouverture  $d$ , à la masse totale initiale de matériau sec passant à travers le tamis de maille.

**Pourcentage massique d'un tamisât** : Rapport exprimé en pourcentage de la masse sèche du passant à travers un tamis d'ouverture  $d$ , à la masse totale initiale de matériau sec passant à travers le tamis de maille.

**Courbe granulométrique** : Représentation du pourcentage massique  $p$  des différents tamisâts en fonction de la dimension nominale d'ouverture des tamis.

### **I.2.3. Le Diagnostic tactile de la texture**

Le diagnostic tactile de la texture comme son nom l'indique est une technique qui permet de caractériser des matériaux à partir du touché. Le principe du diagnostic tactile d'après la Chambre d'Agriculture de Bretagne et l'INRA est le suivant :

Amener le sol à l'état plastique ("pâte à modeler") en y ajoutant si besoin un peu d'eau et bien malaxer cette pâte pour y détruire toute agrégation naturelle des particules du sol. Prendre un volume de l'ordre d'un haricot de cette pâte et le serrer fermement entre pouce et index en faisant glisser ses deux doigts l'un contre l'autre. Observer le comportement de cet échantillon au fur et à mesure de son dessèchement entre les doigts.

**Tant que le matériau reste plastique**, on peut faire l'estimation du sable :

- Aucune sensation de rugosité entre les doigts : le sol comporte moins de 15 % de sable;
- Forte sensation de rugosité, des grains visibles à l'œil nu, effritement rapide de l'échantillon entre les doigts : le sol comporte plus de 50 % de sable (sable, sable limoneux ou sable argileux).

**Quand le matériau s'assèche**, trois comportements sont possibles et permettent d'estimer l'argile :

- Une partie du sol tache les doigts en noir (matière organique) et le reste forme une Poudre fine qui flotte dans l'air : il y a moins de 18 % d'argile (limon à limon sableux),
- le sol se détache des doigts et forme de fins fuseaux d'environ 1 à 2 mm de diamètre et 0,5 à 1 cm de long : il y a entre 18 et 30 % d'argile... d'autant plus que les fuseaux sont nets (limon argileux, limon argilo-sableux, limon sablo-argileux),
- le sol forme une plaquette, souvent brillante, à la surface de l'un des doigts sur lequel il colle : il y a plus de 30 % d'argile... (Argile, argilo-limoneux, argilo-sableux).

La teneur en limon s'estime en faisant le complément à 100 des teneurs estimées en sable et en argile. Plus la texture d'un sol est limoneuse, plus son toucher est farineux.

## II. Matériels et méthodes

### II.1. Matériels

La collecte des données de l'étude à nécessité l'utilisation du matériels indiqué ci-dessous :

#### Réalisation des micro-piézomètres :

- Une tarière de 100 mm de diamètre pour forer ;
- des tubes PVC de 2 mm d'épaisseurs et 90 mm de diamètres pour le tubage.

#### Levés piézométriques :

- Un GPS Différentiel Leica CS10 pour la détermination des coordonnées et des altitudes TN (Annexe 7) ;
- Une sonde piézométrique et des sondes DIVER, respectivement pour la mesure manuelle et automatique du niveau piézométrique des ouvrages.

#### Campagne géophysique :

- Un système d'acquisition : l'ABEM qui contient les protocoles de mesure ;
- Un résistivimètre ABEM qui mesure la résistivité apparente du milieu ;
- Deux (2) batteries de 12V ;
- 64 électrodes en cuivre ;
- 4 câbles (jaunes) pour relier les électrodes au système d'acquisition, avec leurs bobines (faire attention à bien ranger les câbles pour qu'ils se déroulent facilement sur le terrain et prendre garde à ne pas laisser trainer les embouts) ;
- Deux connecteurs de câbles ;
- Un câble noir pour relier le résistivimètre à la centrale d'acquisition.

#### Analyse granulométrique par tamisage :

- Une colonne de tamis normalisés AFNOR comportant les tamis de dimension comprise entre 0.08 et 100 millimètres ;
- Des tares pour le prélèvement du matériau ;
- Une balance de précision.

Outre le matériel terrain, nous avons utilisé plusieurs logiciels techniques. Ce sont :

- **SAS4000 Utilities** qui nous a permis de créer les protocoles de mesure,
- **Res2Dinv**, pour inverser les données géophysiques,
- **Diver office**, pour la programmation des sondes Divers,
- **Sedlog**, a permis de construire des coupes lithologiques,
- **Arc Gis et Surfer** pour la cartographie.

## II.2. Méthodes

Il existe plusieurs méthodes de caractérisation des plaines alluviales (La gravimétrie, la Méthode H/V, la tomographie....). Dans le cas de notre étude la caractérisation s'est faite par la technique de la tomographie des résistivités électriques (ERT), appuyer par une série d'analyse granulométrique et de diagnostique tactile sur plusieurs échantillons provenant de la foration des micro-piézomètres de la plaine.

### II.2.1. La Tomographie des résistivités électriques (ERT)

#### II.2.1.1. Principe de la mesure

Les sites de mesures ERT ont été choisis en fonction de la densité de répartition des ouvrages (micro-piézomètres) comme l'indique la carte de la figure 7, mais aussi en fonction des activités agropastorales.

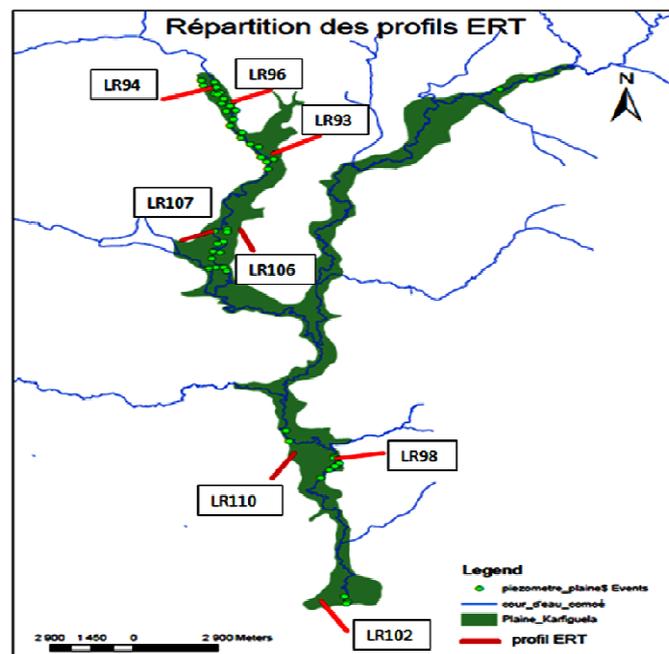


Figure 7: Carte de répartition des profils ERT

Le principe de cette prospection est d'injecter dans le sol un courant électrique d'intensité  $I$  entre deux électrodes A et B et de mesurer la différence de potentiel  $V$  induite entre une autre paire d'électrodes M et N (Figure 8).

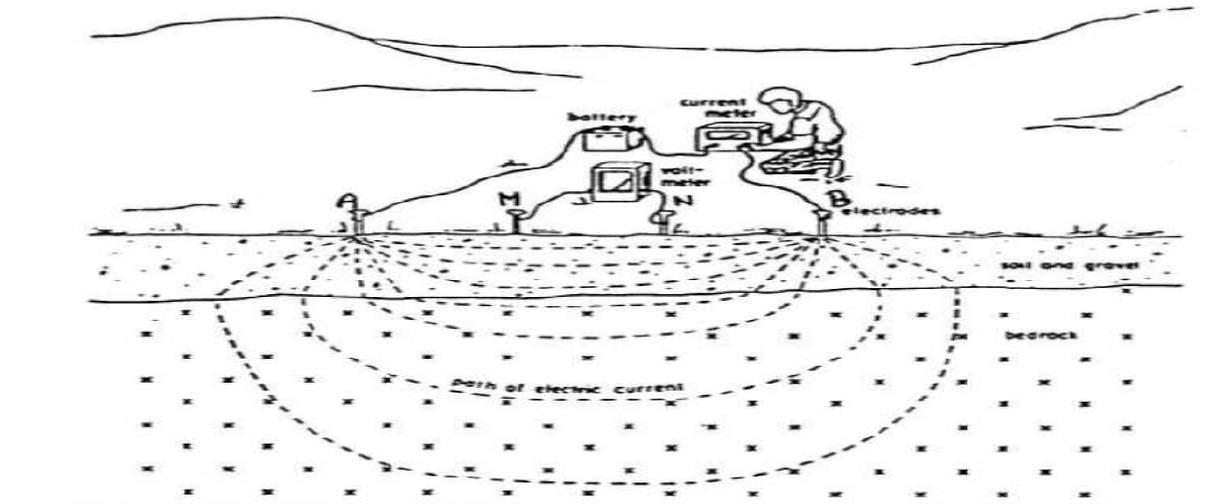


Figure 8: Dispositif d'électrodes pour la prospection électrique (Laval, 2008)

A partir de la valeur du courant injecté  $I$ , de la mesure de la différence de potentiel  $V$  et de l'écartement entre les différentes électrodes, on peut déterminer la résistivité électrique apparente du sous-sol sur la base de la loi d'Ohm :

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

Où  $K$  est un facteur dépendant de la géométrie du dispositif de mesure

Il faut noter que suivant le type de configuration, le volume de la zone sondée varie, mais la profondeur de pénétration interprétable est comprise entre  $[L/10, L/8]$  pour un profil de longueur  $L$  (Figure 9).

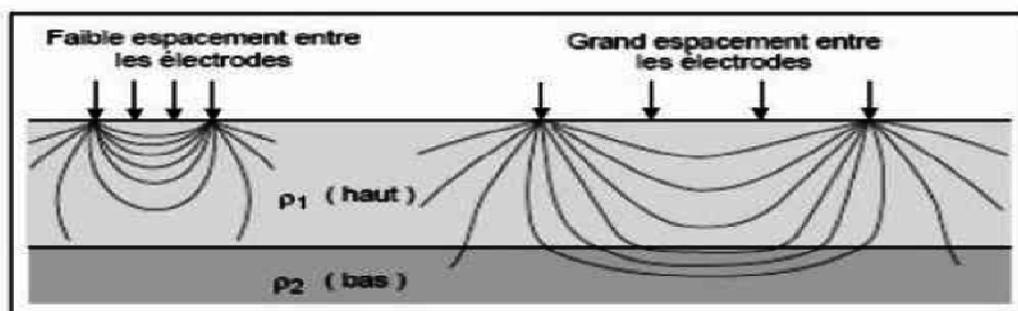


Figure 9: Schéma de la profondeur d'investigation en fonction de la géométrie du dispositif

Il existe plusieurs dispositifs d'électrodes utilisés en pratique, mais celui que nous avons choisi représente le dispositif de mesure le plus fréquemment utilisé en tomographie électrique (Laval, 2008), il s'agit du dispositif Wenner. Avec ce dispositif, les résistivités apparentes sont moins affectées par les variations latérales superficielles et donc on a une bonne résolution verticale pour détecter des couches horizontales. En plus il est bien adapté aux sites où les bruits sont assez importants comme la plus part de nos sites (Figure 10).



Figure 10: Site de mesure n°7 à Tangrela ( droite ); site de mesure n°2 situé au niveau des cascades ( gauche)

Présence de pylonne haute tension (bruit)

L'écartement entre électrodes est constant (distance a) et les électrodes de courant entourent les électrodes de potentiel comme l'indique la figure 11.

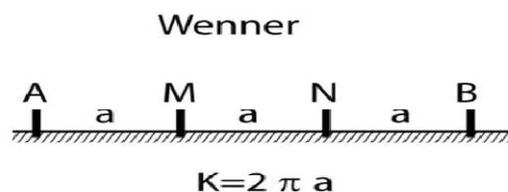


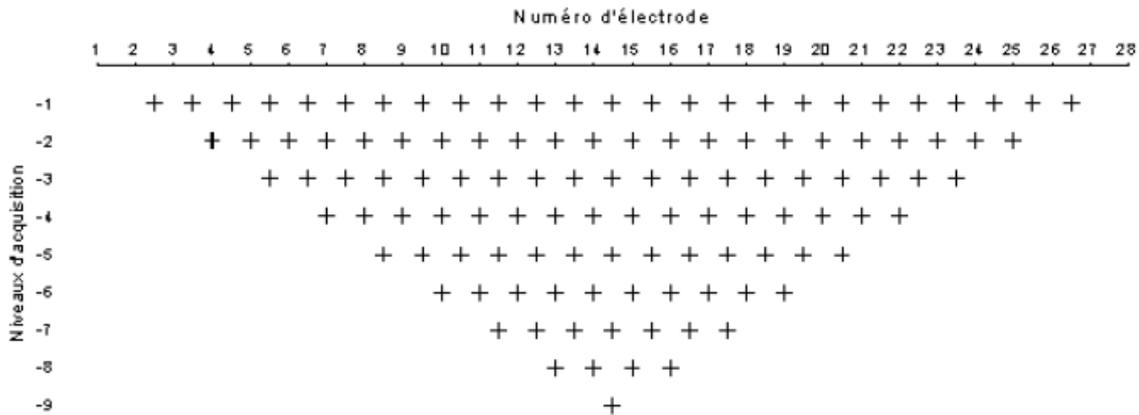
Figure 11: configuration wenner

L'équation précédente devient alors :

$$\rho_{app} = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

Il faut, pour donner une bonne image du sous-sol, une densité de points suffisante. Les électrodes, permettant l'injection du courant et la mesure du potentiel, sont placées le long d'un profil (Figure 12).

La figure 12 montre comment se fait l'acquisition des données pour un dispositif wenner avec 28 électrodes. Le principe est le même quelque soit le nombre d'électrodes.



**Figure 12: Représentation de l'arrangement des électrodes pour une acquisition en dispositif Wenner avec les différents niveaux d'acquisition**

En dispositif Wenner, la première mesure du fichier d'acquisition va se faire à l'aide des électrodes 1, 2,3 et 4 ; les électrodes 1 et 4 serviront à l'injection du courant, les 2 et 3 à la mesure du potentiel. Tout le dispositif va ensuite se déplacer d'une distance  $a$ . Les électrodes 2 et 5 serviront alors d'injection du courant et les 3 et 4 de mesure du potentiel. Le processus se répète jusqu'à l'électrode 28. On a donc, pour le premier niveau d'acquisition 25 possibilités ( $28-3$ ). Comme la caractéristique du dispositif Wenner est de garder une distance constante entre toutes les électrodes, on va donc, pour le niveau suivant, prendre une distance égale à  $2*a$ . La première mesure du 2ème niveau impliquera donc les électrodes 1 et 7 pour l'injection du courant et 3 et 5 pour la mesure du potentiel. Le processus se répète à nouveau jusqu'à l'électrode 28. On effectue ainsi les mesures de chaque niveau d'acquisition (il en existe 9 pour 28 électrodes en Wenner). Il est évident que plus la distance inter-électrode augmente, plus le nombre de possibilités diminue.

L'installation des câbles et des électrodes le long d'un profil se fait après l'observation du terrain et un temps de réflexion pour essayer de recouper au mieux les accidents géologiques. Il faut ensuite connecter tous les câbles à l'entrée du resistivimetre ABEM, lui-même relié à la centrale d'acquisition qui enregistre les résistivités apparentes mesurées. Cet appareil, grâce à une batterie de 12V injecte le courant électrique entre les électrodes A et B et mesure le potentiel électrique entre les électrodes M et N. La centrale d'acquisition nous permet de choisir un des dispositifs (Schlumberger, Wenner, Dipôle-

dipôle...). Cet appareil contrôle la matrice de relais sur laquelle les câbles sont connectés et toutes les électrodes peuvent jouer, tour à tour, le rôle A, B, M ou N.

Les tensions utilisées peuvent atteindre plusieurs centaines de volts et l'intensité du courant peut atteindre 500mA, il faut donc faire attention aux risques d'électrocution mortelle

### II.2.1.2. Représentation des pseudo-sections.

Les pseudo-sections (coupes électriques du sous-sol en résistivités apparentes) sont représentées à l'aide d'un logiciel permettant de dessiner les contours des valeurs de résistivité apparente. Les points de mesures sont reportés à l'aplomb du centre du dispositif et à une pseudo-profondeur proportionnelle à la distance séparant les électrodes. Grâce à un programme de modélisation (Res2Dinv ; Loke, 1995-1996), il est possible de se représenter la coupe que donnerait, en résistivité apparente, n'importe quelle structure simple. Il est donc possible de dessiner (Figure 13) les contours d'un objet simple obtenu par différents dispositifs.

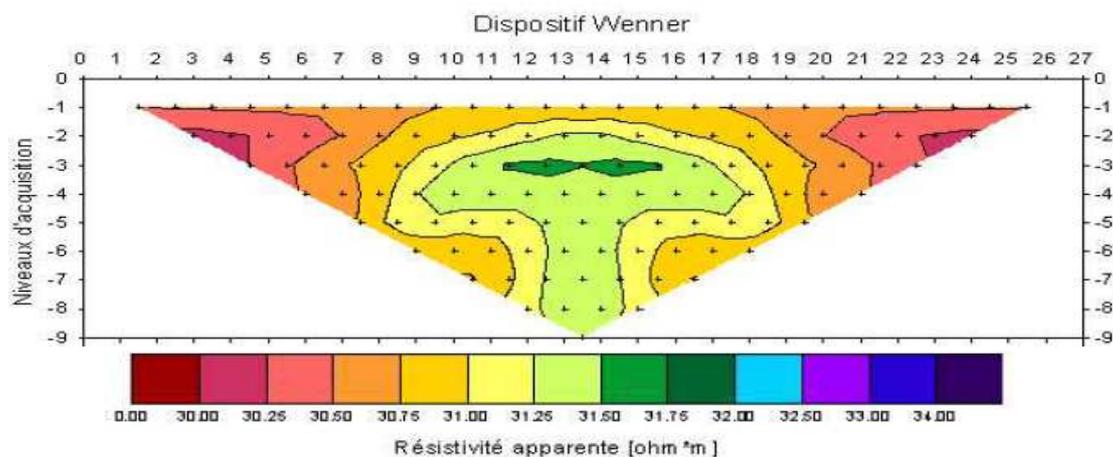


Figure 13: Valeurs calculées des résistivités apparentes provoquées par un modèle simple avec le dispositif wenner

Une modélisation par inversion est nécessaire pour obtenir une image exploitable de la distribution des résistivités réelles en chaque point de mesure. Ce traitement est effectué à l'aide de logiciels dédiés. Celui que nous utilisons est le logiciel Res2Dinv. L'image obtenue est une représentation en coupe (X, Z) et en continu des variations de résistivités des terrains traversés. L'analyse de cette image permet d'identifier et de localiser des matériaux présentant des contrastes de résistivités. (figure14)

Caractérisation des matériaux et de la puissance de la plaine alluviale de karfiguéla par des investigations géophysiques

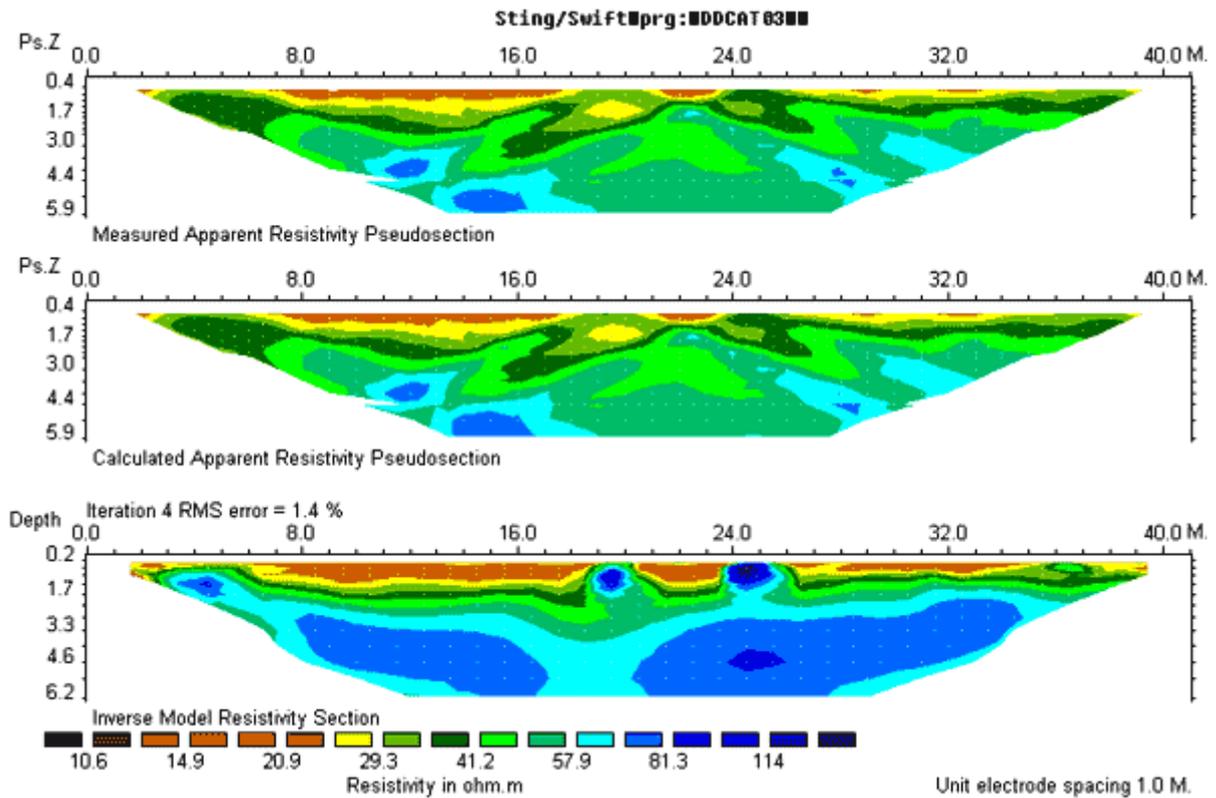
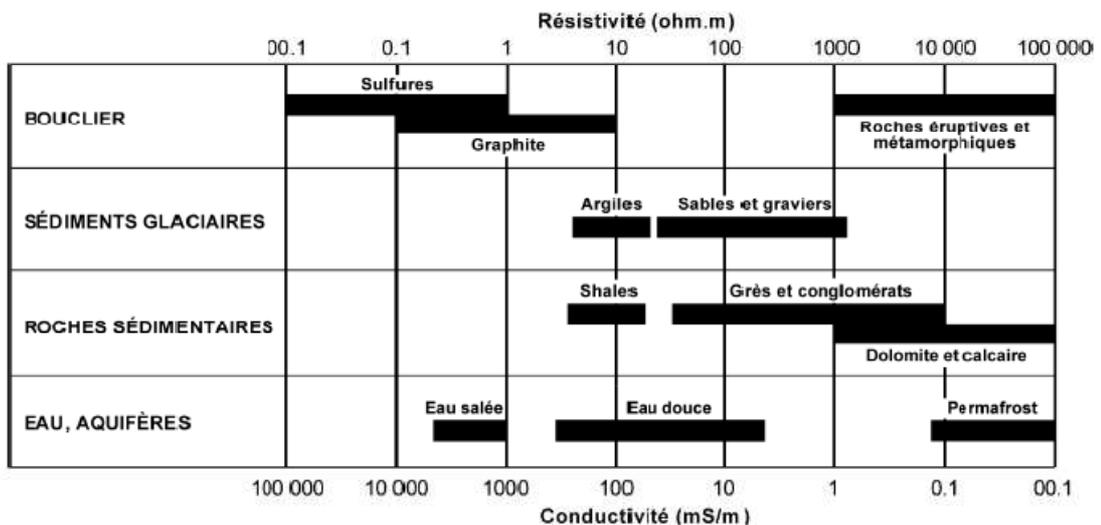


Figure 14: Profil géophysique en résistivités apparentes mesurées (en haut), recalculées par le logiciel d'inversion (au centre) et vraies en bas

L'abaque suivant permettra à partir des gammes de résistivités obtenue, d'en déduire les matériaux correspondants (Tableau II).

Tableau II: Gamme de résistivité électrique (D.chapellier, 2000)



### II.1.2.3. Traitement et modélisation des données géophysiques

#### II.1.2.3.1. Concept d'inversion en géophysique

Lorsque le milieu est homogène, la résistivité électrique apparente est une bonne approximation de la résistivité électrique vraie et elle peut être interprétée directement. Par contre, ce type de milieu est plutôt rare dans la nature. La pseudo-section ne peut donc pas être interprétée directement. De plus, elle dépend de la configuration des électrodes. À partir de la pseudo-section, seules des interprétations qualitatives peuvent être effectuées. Pour obtenir une mesure quantitative de la résistivité électrique vraie, il est nécessaire de procéder à une inversion. Il est possible d'estimer d'avance quels résultats peuvent être attendus d'un levé de résistivité électrique si la stratigraphie et les propriétés physiques du milieu sont connus. En effet, pour chacun des éléments du milieu, une valeur de résistivité électrique vraie peut ainsi leur être inférée. En connaissant la configuration des électrodes pour la réalisation d'un levé, la position des électrodes le long du levé et les propriétés électriques du milieu étudié, la résistivité électrique apparente peut alors être calculée. La pseudo-section peut être produite dans le cas d'un profilage en solutionnant la loi d'Ohm et l'équation de Laplace. Ce processus est appelé modélisation directe. Cependant, lorsqu'un levé de résistivité électrique est réalisé, le but consiste plutôt à obtenir le modèle synthétique de résistivité électrique vraie du milieu étudié à partir de la pseudo-section de résistivité électrique apparente observée. Ce processus s'appelle l'inversion puisqu'il s'agit de l'inverse de la modélisation directe.

L'inversion est une méthode itérative automatique qui peut fournir un modèle de la résistivité électrique vraie afin de placer les structures à une profondeur adéquate. Par contre, la solution mathématique de l'inversion n'est pas unique car plusieurs modèles peuvent correspondre à la même pseudo-section. Le modèle qui correspond le mieux à la résistivité électrique apparente mesurée sur le terrain n'est donc pas nécessairement le bon (Frohlich *et al.*, 1994). Il est nécessaire de bien connaître le milieu étudié pour être en mesure d'optimiser le processus d'inversion en choisissant adéquatement les paramètres d'inversion. La présence de bruit dans le signal peut également influencer les résultats d'une inversion. Dans ce cas, l'inversion présentera une image plus floue de la résistivité électrique vraie. Il s'avère donc essentiel de considérer ce facteur lors de l'interprétation des résultats.

### I.2.1.3.2. Méthodologie de l'inversion

Afin d'obtenir une image quantitative représentant les variations de résistivités réelles (et non apparentes) en fonction de la vraie profondeur, il est nécessaire d'inverser la pseudo-section.

Cette inversion des données est réalisée suivant un processus itératif qui tente de minimiser l'écart entre la pseudo-section mesurée et une pseudo-section recalculée à partir d'un modèle de résistivité électrique. Ce modèle est modifié à chaque itération jusqu'à ce que les données mesurées et calculées atteignent une concordance acceptable ou jusqu'à ce qu'aucune nouvelle amélioration ne soit possible. Le logiciel Res2dinv se base en effet sur les formules mathématiques de ce processus.

### I.1.2.3. 3. Traitement des données avant inversion

Les données brutes sortant du résistivimètre doivent être traitées avant toute utilisation. En effet, elles contiennent les valeurs de la résistivité apparente, l'emplacement des électrodes de mesure, la valeur de DV/I, l'erreur sur la mesure de DV (calculées à partir des deux mesures minimales effectuées par l'appareil) ainsi que d'autres informations comme la date et l'heure. Il faut donc extraire de ce fichier les paramètres importants (position X et Y, rho apparent) pour chaque point de mesure. Cela se fait aisément sur Excel. Le fichier d'acquisition peut ensuite être lu par le programme Res2Dinv. Il est possible, dans ce programme, de représenter géométriquement les points de mesure (« Exterminate bad data points » dans le logiciel Res2Dinv). Cette représentation place les points de mesure par niveau d'acquisition avec une échelle très restreinte. Ce type de représentation fait ressortir les points dont les résistivités sont très fortes ou faibles par rapport à leurs voisines (Figure 17).

Un changement aussi rapide des valeurs ne pouvant être dû à un phénomène géologique, on se doit de les enlever, afin qu'elles ne faussent pas les résultats de l'inversion

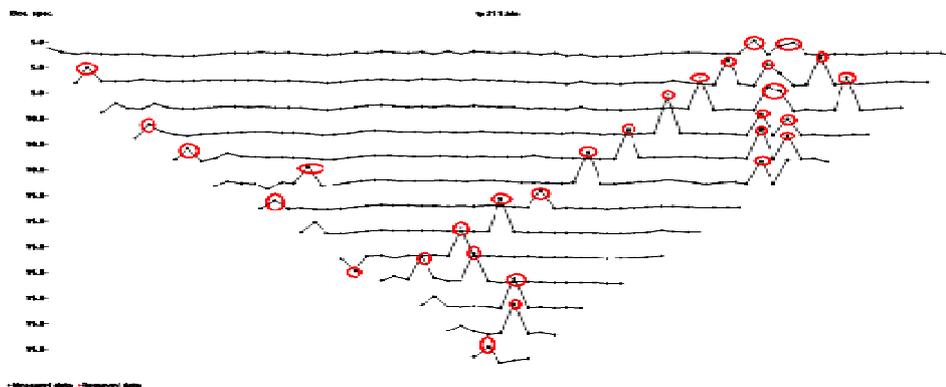


Figure 15: Représentation géométrique des mesures aberrantes dans les fichiers d'acquisition

#### I.1.2.3.4. Paramétrage d'inversion utilisé.

Il est possible, dans le programme d'inversion, de modifier différents paramètres afin de tenir compte des conditions de terrain.

Le menu Change Settings permet de modifier quelques options d'inversions, le plus souvent un message explicatif permet de choisir au mieux la valeur. Les plus importants sont les suivants :

##### **Inversion Damping Parameters**

—► Vertical/Horizontal Flatness ratio : Ce paramètre permet de favoriser des structures verticales ou horizontales

##### **Inversion Progress Settings (critères d'arrêt)**

—► Convergence Limit : Ce paramètre regarde si la solution a été fortement améliorée lors de la dernière itération, si on est sous une limite fixée, on arrête l'inversion (entre 1 et 5% généralement)

—► RMS Convergence Limit : Ce paramètre indique la valeur de RMS à atteindre, elle dépend du bruit sur les données. Si on met une limite trop basse, il y aura des artefacts dans la solution; si on met une limite trop haute, la solution sera plus lisse et homogène.

—► Number of iterations : Ce paramètre permet de limiter le nombre maximum d'itérations (5 à 10 généralement)

Le menu Inversion permet de modifier d'autres options d'inversions. Les plus importants sont les suivants :

##### **Inversion Methods and Settings**

—► Select Robust Inversion : Cette option permet de choisir les normes à utiliser lors de l'inversion :

**Pour les données** : utiliser **robust constraint** si les données sont bruitées

**Pour le modèle** : on utilise une **norme robuste** si on s'attend à des variations assez abruptes de résistivité (ex.: milieu fracturé)

##### **Model Discretization**

—► Change thickness of layers : Cette option permet de modifier la grille d'inversion que Res2dInv crée automatiquement (pour avoir des cellules de même épaisseur ou bien pour avoir des cellules plus en profondeur, etc.) figure 18.



En effet plusieurs micro piézomètres suivant la coupe technique (figure 18) ont été implantés sur notre site d'étude en vue de suivre le niveau de la ressource en eau souterraine. Pendant la réalisation de ces ouvrages, nous avons effectué un échantillonnage des horizons à un pas de 0.5 mètres ; cela nous a permis de construire des logs stratigraphiques de forages par la technique du diagnostic tactile (Agrocampus Ouest, 2011). La procédure consiste à rendre le sol à l'état plastique en y ajoutant de l'eau. Ensuite un volume du sol humidifié est serré entre le pouce et l'index en faisant glisser les deux doigts. Le comportement de l'échantillon est observé jusqu'à son dessèchement afin de déterminer sa texture.

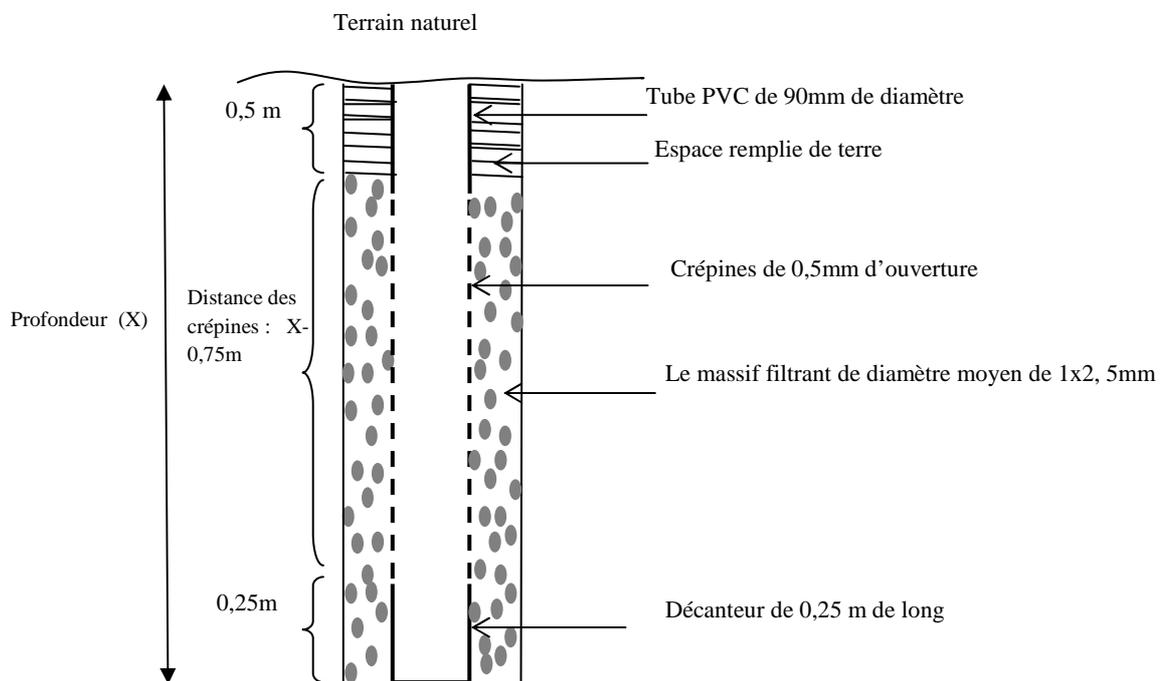


Figure 18: coupe technique des micro-piézomètres

### II.2.3. Analyse granulométrique par tamisage

Les échantillons de sol ont été analysés par la Direction Régionale du Bâtiment et des Travaux publics du Burkina Faso. Au total cinquante un (51) échantillons choisis à différents horizons et sur différents ouvrages (Tableau III) ont été analysés par la méthode du tamisage. L'objectif est d'appuyer la caractérisation faite par la géophysique et le diagnostic tactile.

Tableau III: Choix d'échantillons à analyser par tamisage

Piézomètre	longitudes (m)	latitudes (m)	profondeur (m)	Horizons choisis	Nombre d'échantillons
PZRD6	301198,32	1184356,08	3	2,5m ; 3m	2
PZRG9	301606,84	1183542,43	3,5	2m; 2,5m; 3m; 3,5m	4
PZRG13	302807,77	1181024,85	5,5	2,5m; 3m; 3,5m; 4m; 4,5m; 5m	6
PZRG4	301391,46	1177917,23	4,5	2m; 2,5m; 3m; 3,5m; 4m; 4,5m	6
PZRDA	301375,74	1175750,94	3	2m; 2,5m; 3m	3
PZRGX1	303435,04	1167552,91	6	3m; 4m; 5m; 6m	4
PZRDX6	304637,57	1165158,45	6	3m; 4m; 5m; 6m	4
PZRGX5	304919,63	1165565,52	5,5	2,5m; 3m; 3,5m; 4m; 4,5m; 5m; 5,5m	7
PZRDX7	305510,10	1158682,18	4	3,5m; 4m	2
PZRDX1	311884,04	1185585,30	5,5	2m; 2,5m; 3m; 3,5m; 4m; 4,5m; 5m; 5,5m	8
PZRDX2	310802,55	1185099,72	6	4m; 4,5m; 5m; 5,5m; 6m	5

#### II.2.2.1. Déroulement de l'essai

L'analyse granulométrique par tamisage est une technique qui demande beaucoup d'attention et de précaution pendant le déroulement de l'essai. Une fois l'échantillon disponible au laboratoire d'analyse, les étapes à suivre sont :

- Mettre en place une colonne de tamis dans l'ordre décroissant ;
- Peser le matériau à sec
- Verser le matériau sur le tamis supérieur puis couvrir à l'aide d'un couvercle pour éviter la dispersion des poussières.
- Imprimer à l'ensemble des tamis de brusques secousses afin de procéder à un tamisage partiel sur tous les tamis ;

- Terminer le tamisage tamis par tamis en effectuant les opérations suivantes successivement sur tous les tamis : on remue les matériaux qui se trouvent dans le tamis supérieur, toujours en prenant soin de ne jamais appuyer sur la toile pour forcer le passage des éléments de façon à ne pas fausser l'opération et à ne pas détériorer la toile tamisante. On arrête lorsqu'il ne passe quasiment plus rien à travers le tamis. On enlève alors ce tamis ; on pèse au gramme près le refus et on note le poids sur la feuille d'essais.
- Lorsque le dernier refus au tamis de plus petite dimension a été ainsi déterminé, on pèse le résidu contenu dans le fond placé sous ce tamis, ceci à titre de vérification ultérieure du tamisage.
- Le calcul du pourcentage des refus des différents tamis est fait comme suit :

$$Pr = \frac{MC}{Mi} \times 100$$

Où Mc est la masse du refus au tamis considéré ;

Mi, la masse initiale sèche.

- Les distributions granulométriques sont représentées sur des courbes cumulatives appelées courbe granulométrique. A partir de cette courbe nous pouvons déterminer plusieurs paramètres dont :

Le coefficient d'uniformité  $Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}}$

Tableau IV: Interprétation du coefficient d'uniformité

CU	GRANULOMÉTRIE
<2	Très serré
2<CU<5	Serré
5<CU<20	Semi étalée
20<CU<200	Étalée
>200	Très étalée

Le coefficient de courbure  $Cc = \frac{d_{30}}{(d_{60} \times d_{10})}$

Avec  $d_{10}$ = diamètre correspondant à 10% des passants

$d_{30}$  = diamètre correspondant à 30% des passants

Si  $1 < C_c < 5$  implique que la courbe est bien calibrée.

### II.2.2.2. Classification des matériaux

La classification des matériaux se fait en fonction de la granulométrie. Plusieurs organismes et institutions ont créé leur classification selon des normes (Annexe 5).

Il existe cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes  $d$  et  $D$  des granulats rencontrés (norme NFP18-101) :

- Les fines  $d/D$  avec  $D \leq 0.08\text{mm}$ ,
- Les sables  $d/D$  avec  $D \leq 6.3\text{mm}$ ,
- Les gravillons  $d/D$  avec  $d \geq 2\text{mm}$  et  $D \leq 31.5\text{mm}$ ,
- Les cailloux  $d/D$  avec  $d \geq 20\text{mm}$  et  $D \leq 80\text{mm}$ ,
- Les graves  $d/D$  avec  $d \geq 6.3\text{mm}$  et  $D \leq 80\text{mm}$ .

Lorsque nous faisons l'analyse granulométrique, nous cherchons en effet à déterminer les pourcentages des différents matériaux dans l'échantillon analysé. Une fois ces proportions connues, principalement le sable et l'argile, l'abaque de la figure 19 nous permettra d'obtenir directement les textures des matériaux en question.

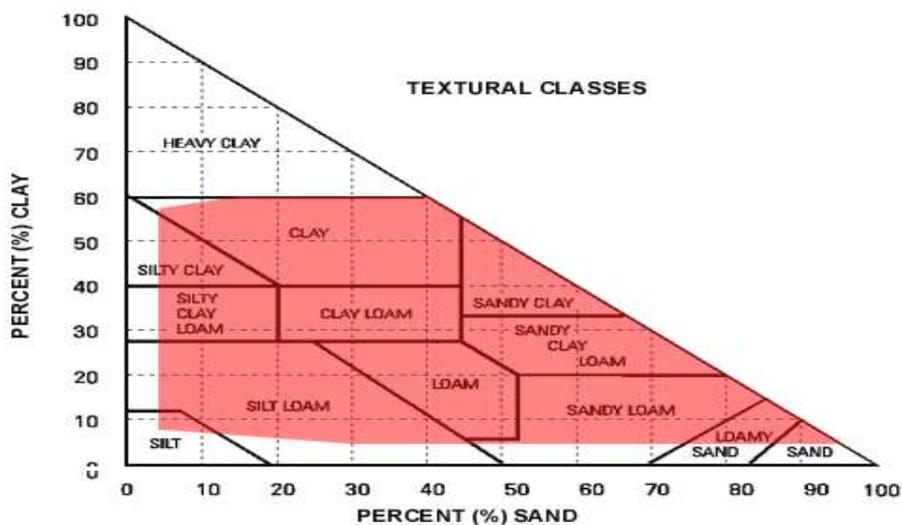


Figure 19: Textural classes (GEPPA, 1963)

### III. Résultats et Interprétations

#### III.1. Résultats Tomographie et forage à la tarière

##### III.1.1. Natures géologiques des matériaux de la plaine

Les données géophysiques récoltées sur le terrain ont fait l'objet d'une inversion pour générer des modèles géo-électriques. Les résultats de cette inversion montrent que les résistivités sur notre site d'étude sont très variées. Ce qui atteste aussi de la variation verticale des formations en place. En effet à chaque gamme de résistivité correspond un type de formation géologique.

#### Coté Nord-Ouest de la plaine

##### Site N°1(Karfiguéla)

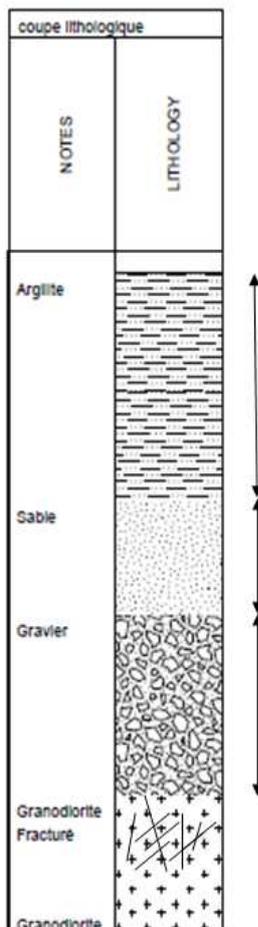


Figure 21: Coupe lithologique du profil LR00093

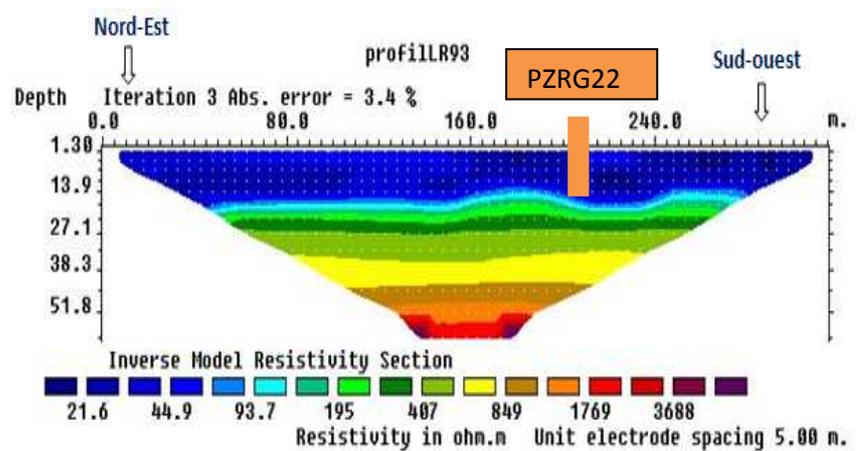


Figure 20: Modèle inversé de résistivité électrique du profil LR00093

On peut noter les observations suivantes sur le modèle inversé : une couche supérieure de faible résistivité ( $< 90 \text{ ohm.m}$ ) est observée depuis la surface topographique jusqu'à une profondeur d'environ 20m. Cette formation est attribuée à des alluvions très argileuses imbibées d'eau. Lorsqu'on part plus en profondeur, on rencontre une couche assez mince d'environ 4m d'épaisseur avec une résistivité  $< 150 \text{ ohm.m}$  et peut être attribuée à une arène sableuse. Cette couche repose sur deux autres d'épaisseurs cumulées 6m sensiblement, et de résistivité comprise entre 200 et 400 ohm.m. Ces couches pourraient être du gravier ou du sable graveleux. Une zone relativement résistante (800 à 1000 ohm.m) est observée à la suite des couches citées plus haut. Et les valeurs de résistivité de cette zone témoignent d'une roche altérée, probablement l'horizon fissuré ou l'arène grenue ; le socle dans cette zone étant du granodiorite, on a alors à cet endroit du granodiorite fissuré et l'ensemble reposant sur du granodiorite sain de résistivité supérieure à 1000 ohm.m.

A partir des variations des résistivités que nous avons obtenues par inversion des données géophysiques et en nous appuyant sur les coupes lithologiques de nos forages environnant, nous avons établie une coupe lithologique de toute la puissance de la plaine dans la zone indiquée (Figure 21). Cette coupe montre globalement trois types de formation :

Une première couche formée d'alluvions très argileuses, plus précisément nous avons une succession d'argile pure, d'argile sableuse, argile limoneuse, argile graveleuse sur 20 mètres d'épaisseur.

Une deuxième couche constituée de sable et une troisième formée de gravier. Le tout reposant sur un socle granodioritique fracturé qui devient sain plus en profondeur.

La figure 22 suivante représente les résultats des micro-forages au voisinage du profil sur le site n°1.

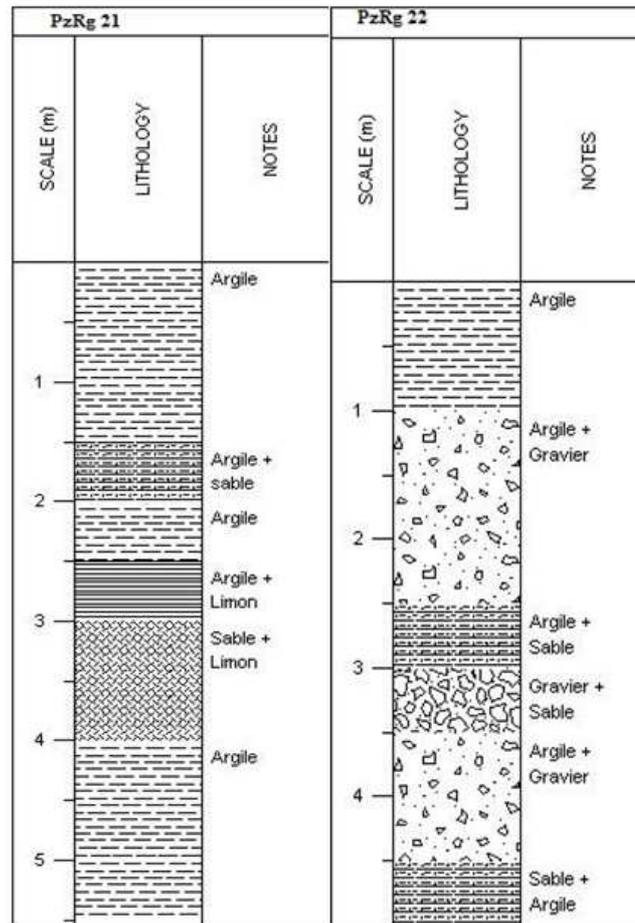


Figure 22: Coupe stratigraphique des forages PZRG21 et PZRG22

Les résultats obtenus sont en cohérence avec les logs des micro-piézomètres de la zone même si ces ouvrages ne nous donnent pas d'informations au delà de 6m de profondeur, ils confirment quant même nos conclusions tirées de la géophysique dans les premiers mètres (Figure 22). En effet les logs stratigraphiques des micros forages PZRG21 et PZRG22 localisés au voisinage du profil LR00093 montrent une succession de couches alluvionnaires partant des argiles pures à des alluvions très argileuses comme il a été vu par la géophysique. Ces alluvions sont globalement des sables, des graviers et des limons.

Sites N°2 et N°3 (Cascades)

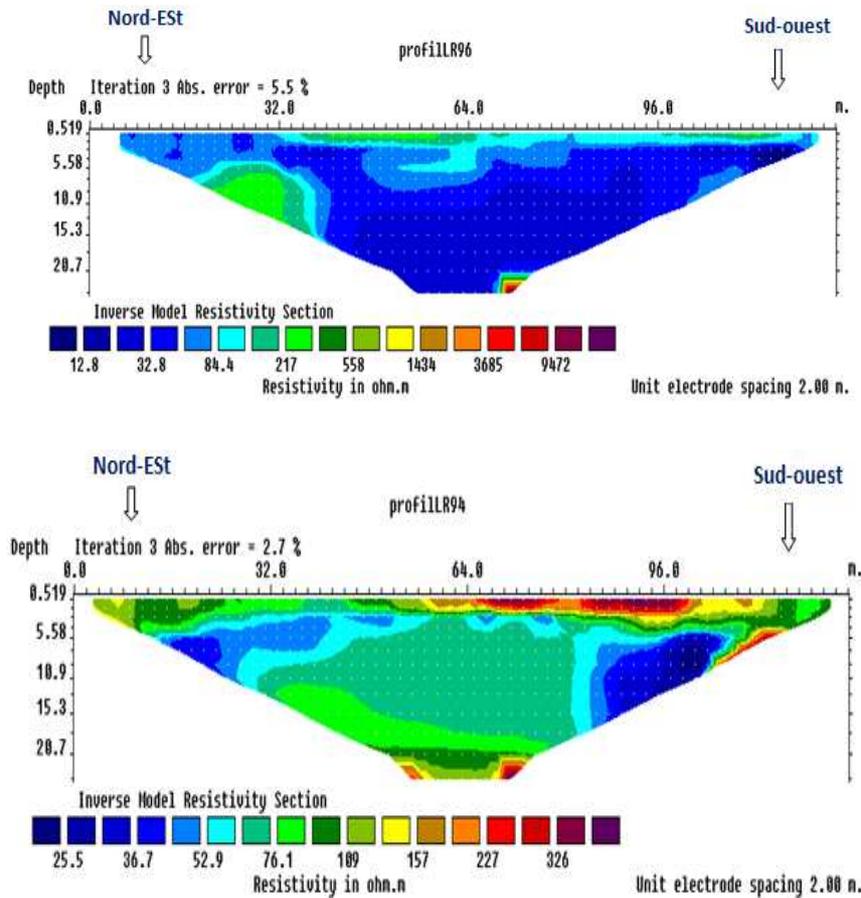


Figure 23: Modèle de résistivité électrique des profils LR00094 et LR00096

L'analyse de ces deux modèles de résistivité montrent que ces zones étudiées sont globalement constituées de matériaux argileux d'une épaisseur considérable, avec cependant des couches de sable par endroit. En effet, sur le modèle LR00094 on voit une couche dominante moyennement résistante (50 à 130 ohm.m) de 23 m d'épaisseur. Cette couche est attribuée à du sable argileux. Mais dans l'intervalle 5 à 10 mètres de profondeur lorsqu'on va vers les extrémités du profil, la résistivité de la couche diminue (<50 ohm.m), correspondant à des argiles. Dans la partie supérieure, une autre couche de 4m d'épaisseur environ, plus résistante (> 130 ohm.m) commence à partir de l'électrode 28 en partant vers le sud-ouest. Les résistivités de cette couche conformément à la géologie en place renvoient à du grès et elle représente par ailleurs une limite de la plaine (talus) car topographiquement plus élevés. A 25 mètres de profondeur, nous obtenons des valeurs de résistivités identiques à celle du talus, alors probablement nous avons du grès à ce niveau. Au delà de cette couche on sait

déjà qu'on est dans le socle, mais l'espacement de ce profil ne nous permet pas de voir cela, on le sait à partir des autres profils qui ont investigué plus en profondeur.

Le modèle LR00096 lui aussi renseigne de la présence d'une épaisse couche d'argile (22m). Cependant en subsurface à partir de l'électrode N°16 jusqu'à l'extrémité sud-ouest nous remarquons une mince couche (1m d'épaisseur) de résistivité comprise entre 80 et 200 ohm.m. Cette couche serait du gravier argileux et sableux. Une poche de cette même couche se retrouve entre 6 et 15m de profondeur en allant vers le Nord Est. Au delà de 22 m de profondeur nous apercevons le socle avec une résistivité supérieure à 1000 ohm.m. A partir de 22m de profondeur, nous obtenons des résistivités très élevées > 3000 ohm.m, caractéristiques du socle cristallin (le granodiorite précisément).

Les logs stratigraphiques des micros piézomètres PZRD1, PZRG07 respectivement au voisinage des profils LR0094, LR00096 renforcent nos résultats géophysiques. En effet ces logs montrent et confirment la dominance en matériaux argileux sur la plaine au moins sur les 5 premiers mètres de profondeurs.

Les logs stratigraphiques complets à partir de la géophysique matérialiseront les différentes strates en place.

→ Coupes lithologiques correspondant aux modèles de résistivité LR00094 et LR00096

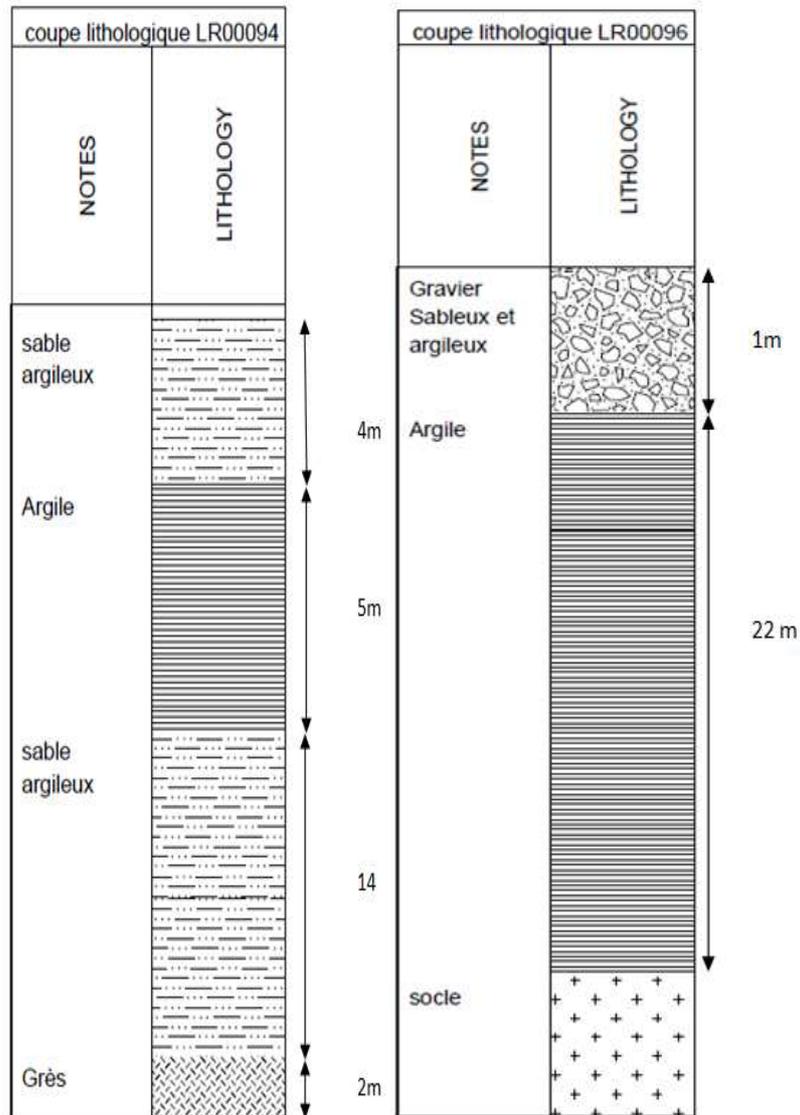


Figure 24: Coupe lithologique des modèles LR00094 et LR00096

Les coupes lithologiques de ces trois sites montrent l'importance en matériaux argileux de la plaine alluviale de karfiguéla. De l'argile qui dépasse parfois les 20mètres d'épaisseur. Mais il faudrait noter que ces zones argileuses ne sont purement pas que des argiles, parfois il y'a de minces couches d'autres alluvions comme du sable et quasi non détectable par la géophysique qui s'intercalent. Pour mieux remarquer cela, il faudrait faire des logs de forages beaucoup plus profonds que ceux que nous avons réalisés. La lithologie des micros piézomètres PZRD1, PZRG07 respectivement au voisinage des profils LR0094, LR00096 appuient nos résultats géophysiques. En effet ces logs montrent et confirment la dominance en matériaux argileux sur la plaine au moins sur les 5 premiers mètres de profondeur.

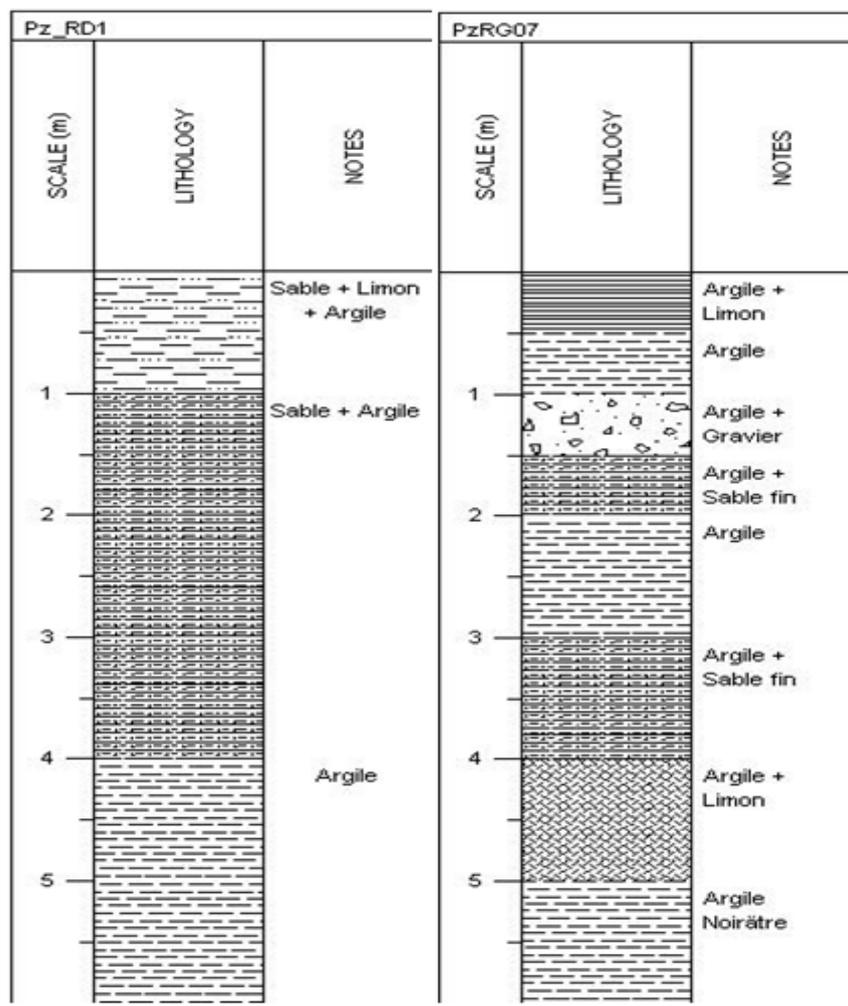


Figure 25 : Coupe stratigraphique des forages PZRD1 et PZRG07

## Coté OUEST de la plaine

### Site N°4 et N°5 (Diarabakoko)

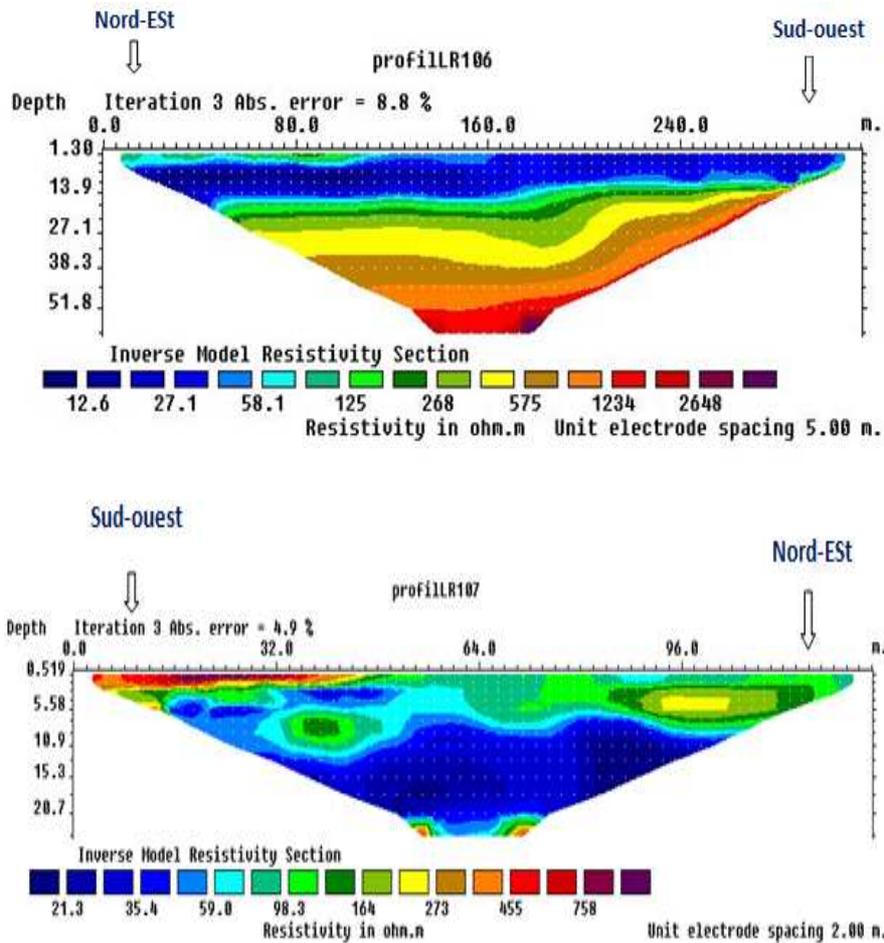


Figure 26: Modèle de résistivité électrique des profils LR106 et 107

Le modèle LR106 montre une tabulation assez claire des différentes strates qu'on rencontre dans la zone. En effet sur les 20 premiers mètres nous avons une couche de faible résistivité ( $< 80$  ohm.m). Cette couche est attribuée aux argiles. De 20 à 27 m nous obtenons des résistivités caractéristiques d'une arène sableuse. Et en dessous duquel se trouve une couche de gravier (500 à 700 ohm.m) de 11 m d'épaisseur.

Par la suite nous observons des résistivités caractéristiques de roche très dure : socle fissuré (1000 à 1500 ohm.m) et socle sain ( $> 1500$  ohm.m).

Lorsqu'on analyse le modèle LR107 on voit apparaître trois zones distinctes : une couche supérieure de résistivité moyenne, une couche intermédiaire de faible résistivité et une couche

inférieure de forte résistivité. La première couche correspond à un mélange de sable argileux avec des poches purement sableuses ou argileuses par endroit. Cette couche est surmontée d'une fine couche de cuirasse latéritique vers le sud ouest. A partir de 10 m de profondeur on observe une formation argileuse allant jusqu'à environ 22 m de profondeur.

La profondeur d'investigation du profil ne permet pas de voir clairement le socle mais on voit tout de même qu'après la couche d'argile nous avons un éventuel dépôt de sable graveleux sur le socle fissuré. Une coupe lithologique prenant en compte toute la puissance de la plaine dans cette zone sera effectuée à partir de la carte des résistivités. Cela dans le but de voir la nature et la structure des différents matériaux depuis la surface topographique jusqu'au bedrock.

→ Coupes lithologiques correspondant aux modèles de résistivité LR106 et LR107

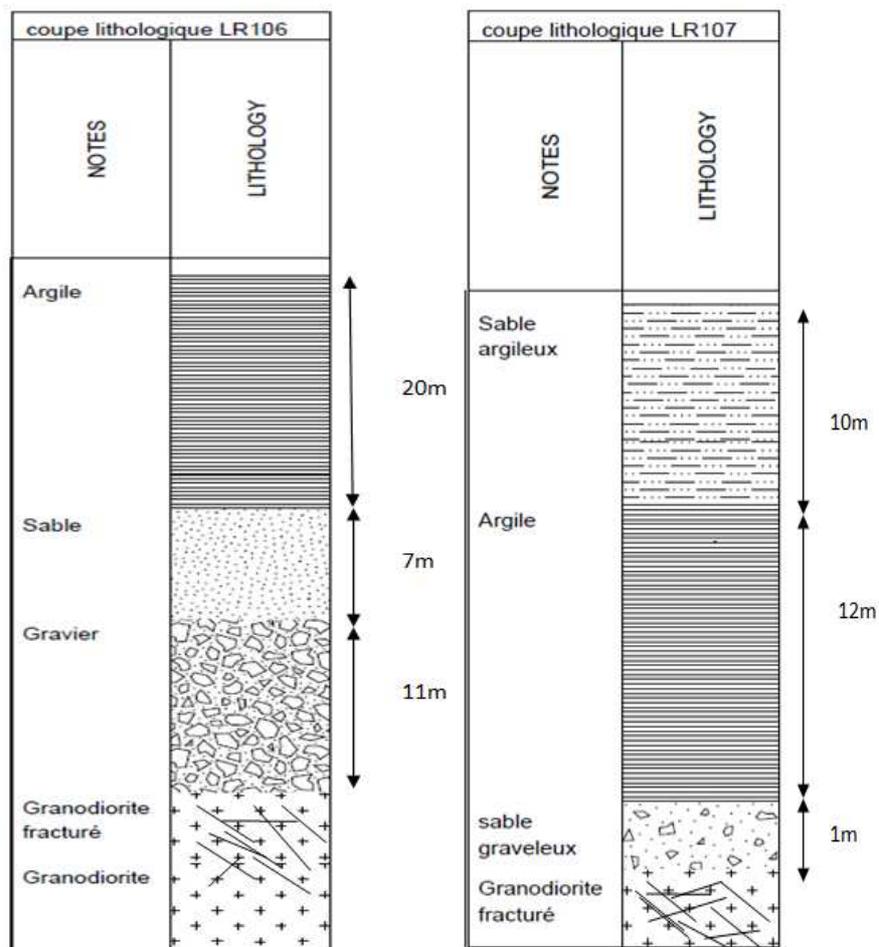


Figure 27: Coupe lithologique des modèles LR106 et LR107

Ces coupes montrent en effet une stratification typique des plaines : dans un premier temps un dépôt de matériaux les plus denses comme le gravier, suivi d'un dépôt de matériaux moins denses tel que le sable, pour finir avec des dépôts d'argile beaucoup moins dense. Et lorsqu'on analyse les coupes des micro-piézomètres réalisés au voisinage des profils ayant servi à tracer ces logs, on s'aperçoit que les résultats sont presque identiques sauf que les coupes de forages sont beaucoup plus précises car ces coupes montrent en fait les hétérogénéités qui passent souvent inaperçus avec la géophysique (Figure 28).

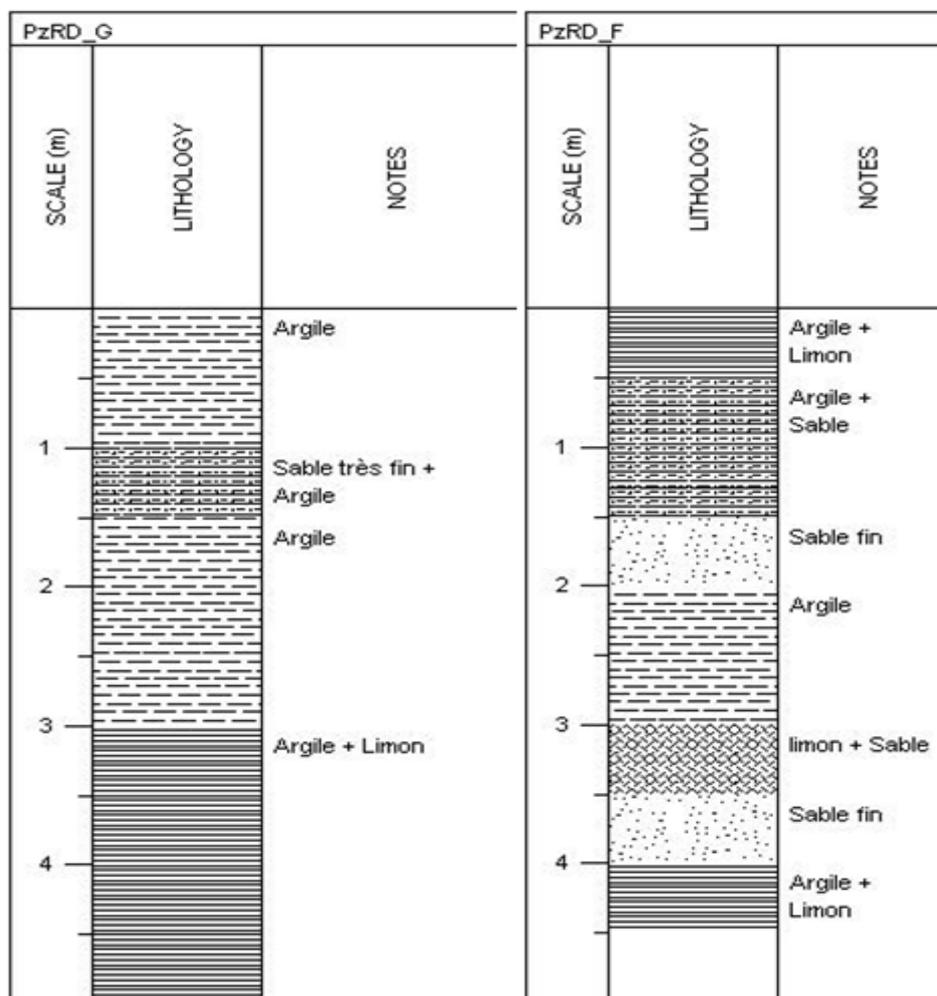


Figure 28 : Coupe stratigraphique des forages PZRDG et PZRDF

## Coté Sud de la plaine

### Sites N°6 et N°7(Tangrela)

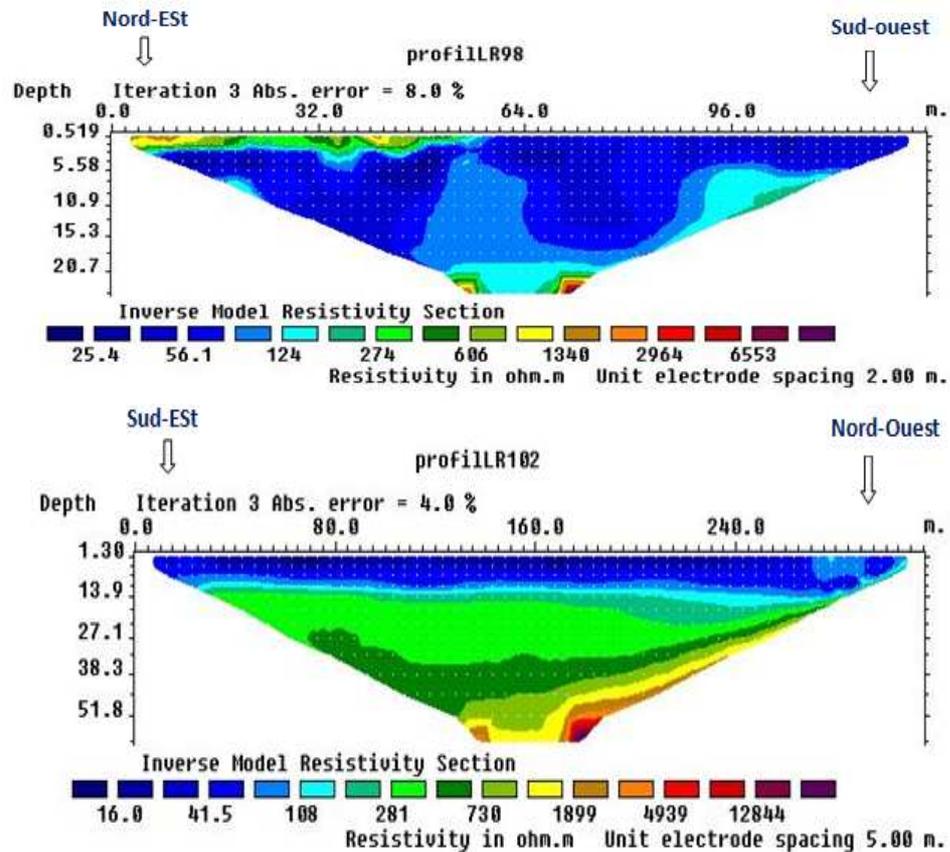


Figure 29: Modèles de résistivité électrique des profils LR0098 et LR102

Les deux modèles de résistivité ci-dessus montrent clairement la nature des matériaux de chacune des deux zones étudiées.

Le LR98 laisse voir une dominance quasi-totale en matériaux de résistivité inférieure à 100ohm. Les matériaux avec une telle résistivité sont des argiles selon la géologie de notre site et l'abaque de classement des matériaux utilisé (tableau II, p18). Cette argile commence depuis la surface topographique jusqu'à une profondeur d'environ 20 m. Au dessus de cette couche sur une distance de moins de 64 m vers le Nord –EST nous obtenons des matériaux de résistivité assez élevée : Nous sommes sur le talus de la plaine constituée de calcaire qui affleure par endroit, de gravier et de sable. Entre 20 et 22 m de profondeur en dessous des argiles, nous avons une couche de résistivité supérieure à 100ohm.m, éventuellement du sable. En dessous de cette couche on aperçoit déjà le socle.

Sur le modèle LR102 trois principales couches sont à distinguer : une première couche d'argile de 12 m d'épaisseur environs, en dessous duquel se trouve une arène sableuse d'épaisseur sensiblement égale à 15 mètres. Ces deux couches reposent sur une autre de résistivité relativement élevée (300 à 750ohm.m) et est attribuée aux graviers. Le tout se trouve sur un bedrock de résistivité supérieure à 10.000ohm.m.

→ Coupes lithologiques correspondant aux modèles de résistivité LR00098 et LR102

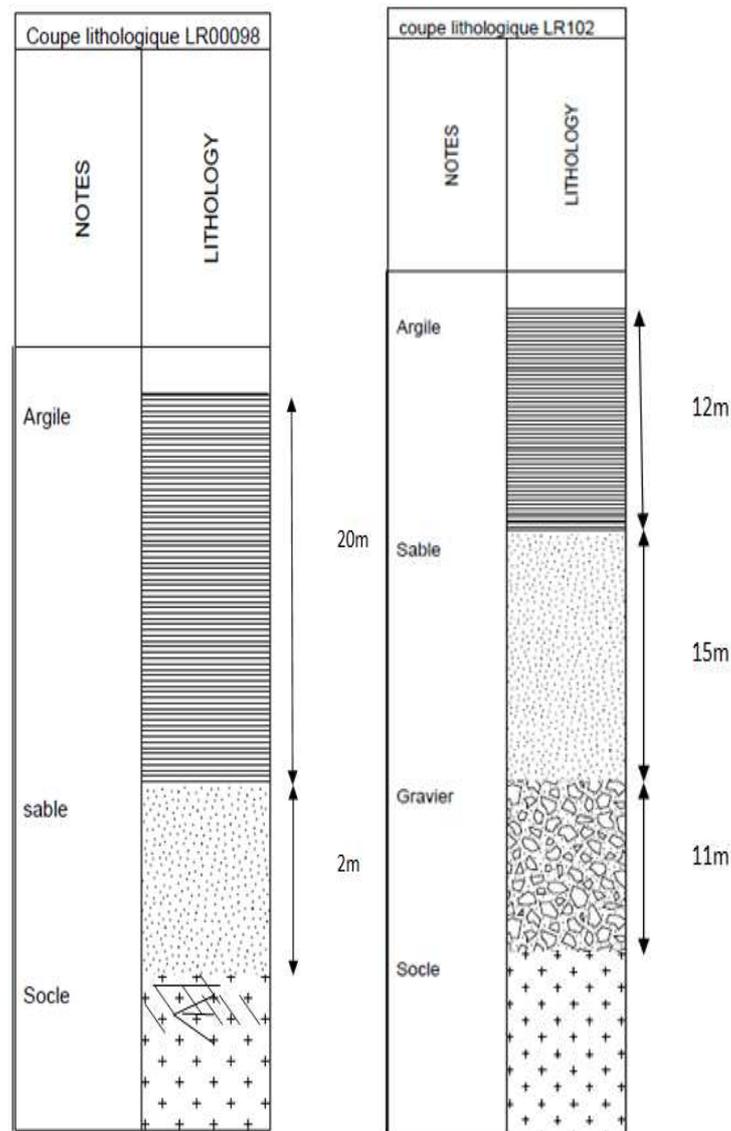


Figure 30: Coupes lithologiques des modèles LR00098 et LR102

Tout comme sur les autres sites, les coupes lithologiques des modèles LR00098 et LR102 montrent l'abondance en matériaux argileux du site étudié. Outre que de l'argile on remarque

aussi sur des zones comme celle où a été réalisé le profil LR102, du gravier et du sable avec des épaisseurs considérables. Cependant comme nous l'avons dit plus haut, pour confirmer la nature de ces matériaux un sondage destructif est nécessaire sur toute la puissance de la plaine, mais cela demande beaucoup de moyen. Les sondages que nous avons effectués se limitent tout au plus à 6 mètres de profondeur et cela nous permet tout de même de confirmer et de renforcer nos résultats géophysiques dans les premiers mètres.

Les logs stratigraphiques qui suivront sont celles des micros -piézomètres réalisés au voisinage des profils LR00098 et LR102.

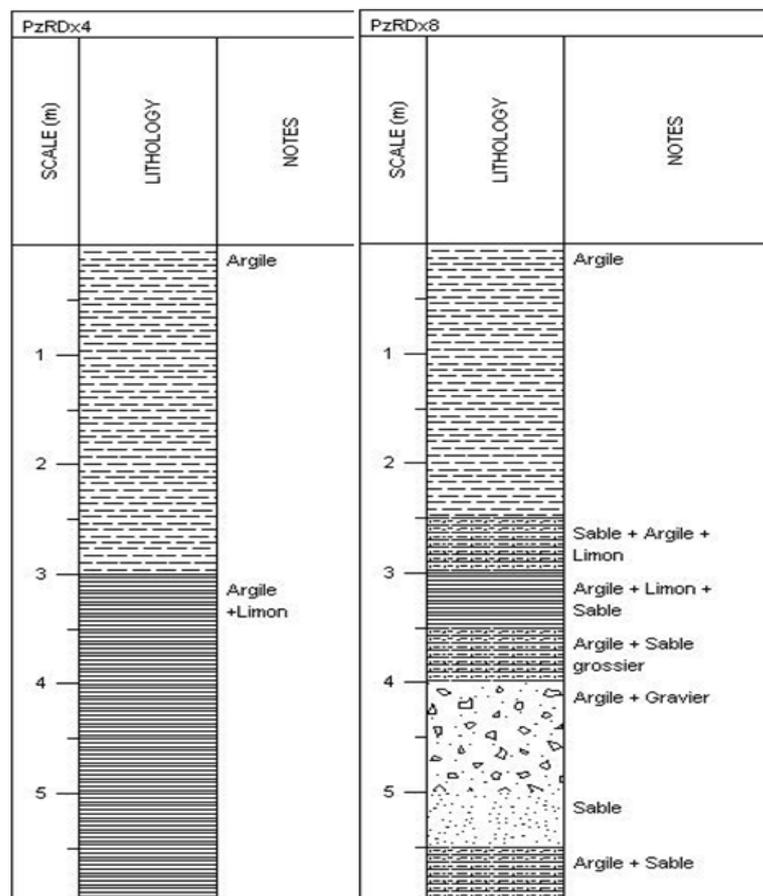


Figure 31 : Coupes stratigraphiques des forages pzrdx4 et pzrdx8

Ils indiquent en effet une fois de plus l'abondance en matériaux argileux de la plaine, comme il a été mesuré par l'ERT. Les logs stratigraphiques du PZRDx4 par exemple montrent que sur 6 mètres forés, nous avons 6 mètres d'argile et la géophysique a non seulement montré cela mais elle a également montré que cette argile continue jusqu'à une vingtaine de mètres de profondeur environ.

### III.1.2. Estimation et caractérisation de la puissance.

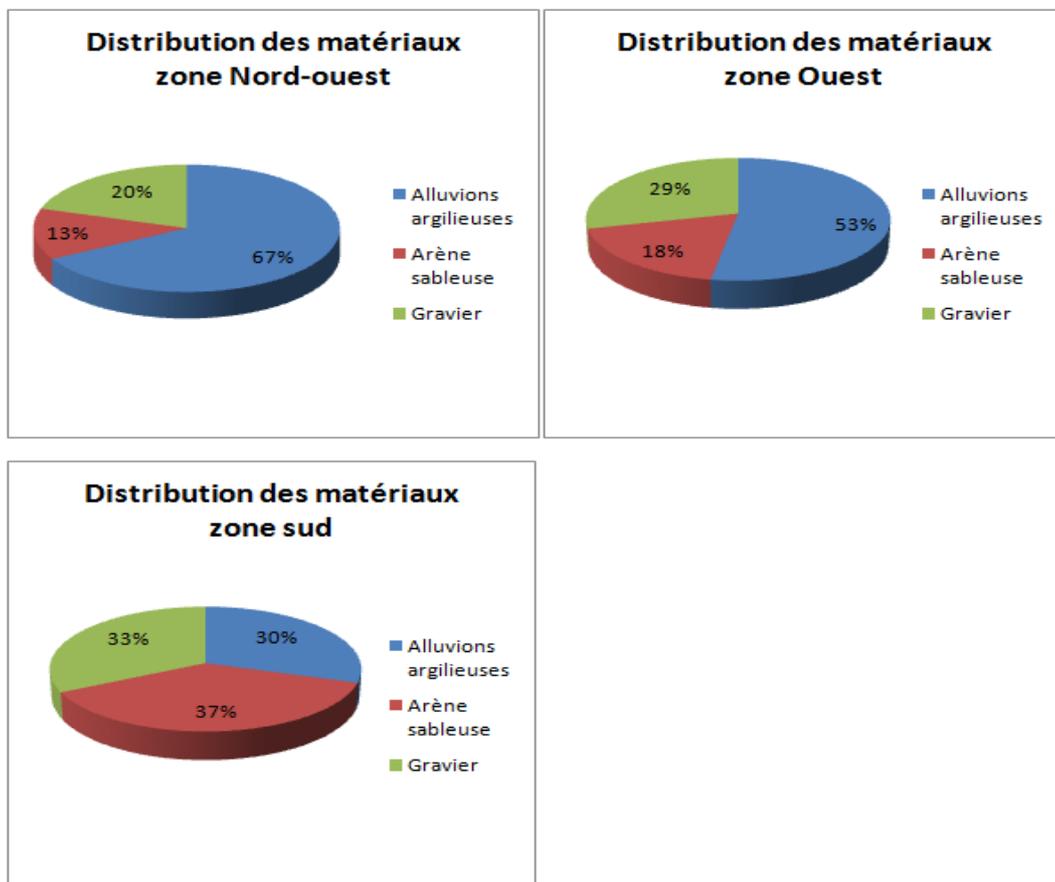
Outre la détermination de la nature des matériaux, les modèles géophysiques nous permettent de déterminer la puissance de la plaine. En effet ces modèles sont construits dans un repère (X, Z). ; Ce qui permet de voir la profondeur investiguée par le profil. Aussi, à partir de ces modèles nous avons construit des coupes lithologiques qui mettent en évidence l'épaisseur de chacune des couches rencontrées jusqu'au bedrock. Ainsi nous pouvons directement estimer la puissance totale de la plaine. Cette puissance varie selon les sites comme l'indique les figures 21 ; 24 ; 27 et 30. Dans la zone Nord -Ouest la puissance de la plaine varie entre 30 ; 25 et 23 mètres (figure 21 ; 24). Vers le sud et vers l'ouest la puissance est aussi estimée à une vingtaine de mètres mais elle atteint les 38 mètres à certains endroits (figure 27 ; 30). Le tableau suivant nous donne l'épaisseur de chacune des principales couches géologiques ainsi que la puissance de la plaine par site de mesure.

**Tableau V: Epaisseurs des principales couches géologiques et puissance de la plaine par site**

zone	Désignation profil (site)	Nature des principales couches géologiques	Epaisseur des couches (m)	Puissance de la plaine/site(m)
Nord-Ouest	LR00093	Matériaux argileux	20	30
		Sable	4	
		Gravier	6	
		Granodiorite fissurée et altéré	21	
	LR00094	Matériaux argileux	23	25
		Sable	2	
		Gravier	-	
		Granodiorite fissurée et altéré	-	
	LR00096	Matériaux argileux	22	23
		Sable	-	
		Gravier	1	
		Granodiorite fissurée et altéré	-	
Ouest	LR106	Matériaux argileux	20	38
		Sable	7	
		Gravier	11	
		Granodiorite fissurée et altéré	20	
	LR107	Matériaux argileux	22	23
		Sable	-	
		Gravier	1	
		Granodiorite fissurée et altéré	-	
Sud	LR00098	Matériaux argileux	20	22
		Sable	2	
		Gravier	-	
		Granodiorite fissurée et altéré	-	
	LR102	Matériaux argileux	12	38
		Sable	15	
		Gravier	11	
		Granodiorite fissurée et altéré	13	

Le tableau V montre aussi que les épaisseurs des principales couches qui constituent la plaine, sont très inégales.

Les diagrammes suivants (figure 32) nous permettent de mieux apprécier la distribution des matériaux au niveau de chaque zone de la plaine ; mais il faut noter que ces diagrammes ont été tracés avec les résultats des profils qui ont donné des meilleurs images du sous-sol respectivement le LR00093, le LR106 et le LR102 pour les zones Nord-ouest, Ouest et sud ; sachant que les autres profils dans les même zones donnent plus ou moins les même proportions.



**Figure 32: Distribution des matériaux verticalement dans la plaine**

Les zones Nord-Ouest et Ouest montrent en effet une dominance en alluvions argileuses par rapport à la zone Sud où le gravier et l'arène sableuse prennent une proportion considérable.

▪ **Épaisseurs saturées et non saturées de la plaine**

Connaissant la piézométrie sur les différents sites étudiés, nous pouvons obtenir les zones saturées et non saturées sachant que le niveau piézométrique constitue l'écran entre les deux. Cependant la piézométrie ainsi que l'épaisseur de la plaine varie d'un endroit à un autre ; ce qui fera aussi varier les épaisseurs recherchées. Le tableau ci dessous montre cette variation pour un échantillon de sept (7) piézomètres choisis au voisinage directe de nos profils ERT.

Tableau VI: Epaisseurs saturées et non saturées de la plaine

Désignation profils	Piézomètres immédiats des sites	Puissances plaine/site(m)	Epaisseurs Non-saturées/site (m)	Epaisseurs saturées/site (m)
LR00093	PZRG13	30	2.08	27.92
LR00094	PZRD6	25	1.63	23.37
LR00096	PZRG6	23	1.6	21.4
LR00098	PZRG2	22	3	19
LR102	PZRD7	38	0.63	37.37
LR106	PZRD15	38	1.08	36.92
LR107	PZRG7	23	0.8	22.2

▪ **Modèle conceptuel de la Plaine**

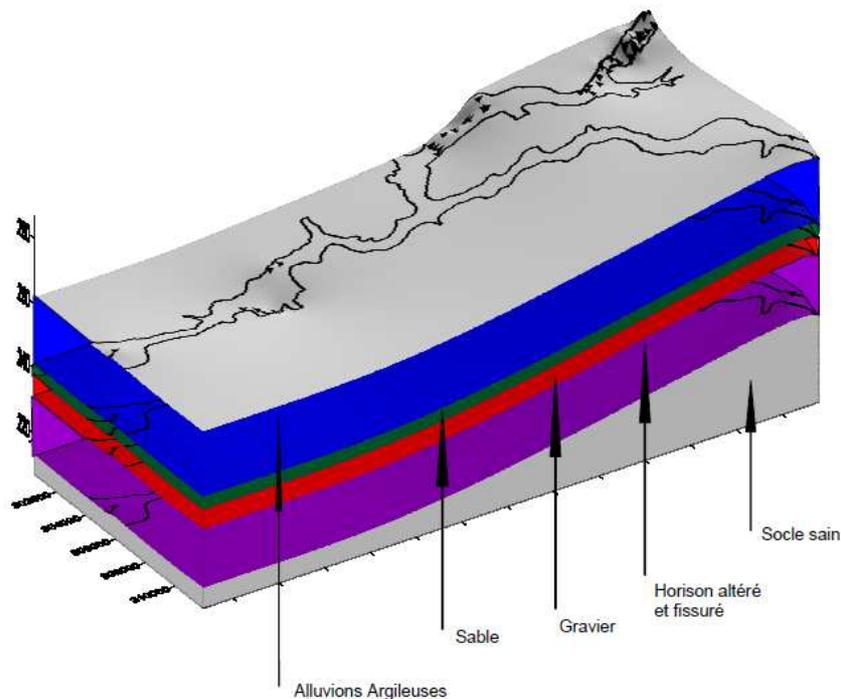


Figure 33: Modèle conceptuel 3D de la plaine

Ce modèle conceptuel à été construit à l'aide de 49 points mesurés par le GPS différentiel (voir annexe 6). Comme le montre ce modèle, les plus grandes épaisseurs se trouvent dans la partie Sud de la plaine vers les villages de Diarabakoko et Tangrela due probablement à une dépression du socle dans cette zone.

### III.1.3. Nature des talus de la plaine.

La nature des talus de la plaine de karfiguéla a été déterminée par la combinaison des investigations géophysiques et des observations terrains des affleurements rocheux. L'interprétation des modèles de résistivité électrique qui suivront nous permettra de déterminer la nature des matériaux au niveau des talus, cela dans le but d'en déduire directement la nature géologique des talus. Nous utiliserons des modèles rectangulaires pour l'interprétation car ces types de modèles sont étendus sur les cotés et donc fournissent beaucoup plus d'informations sur les limites.

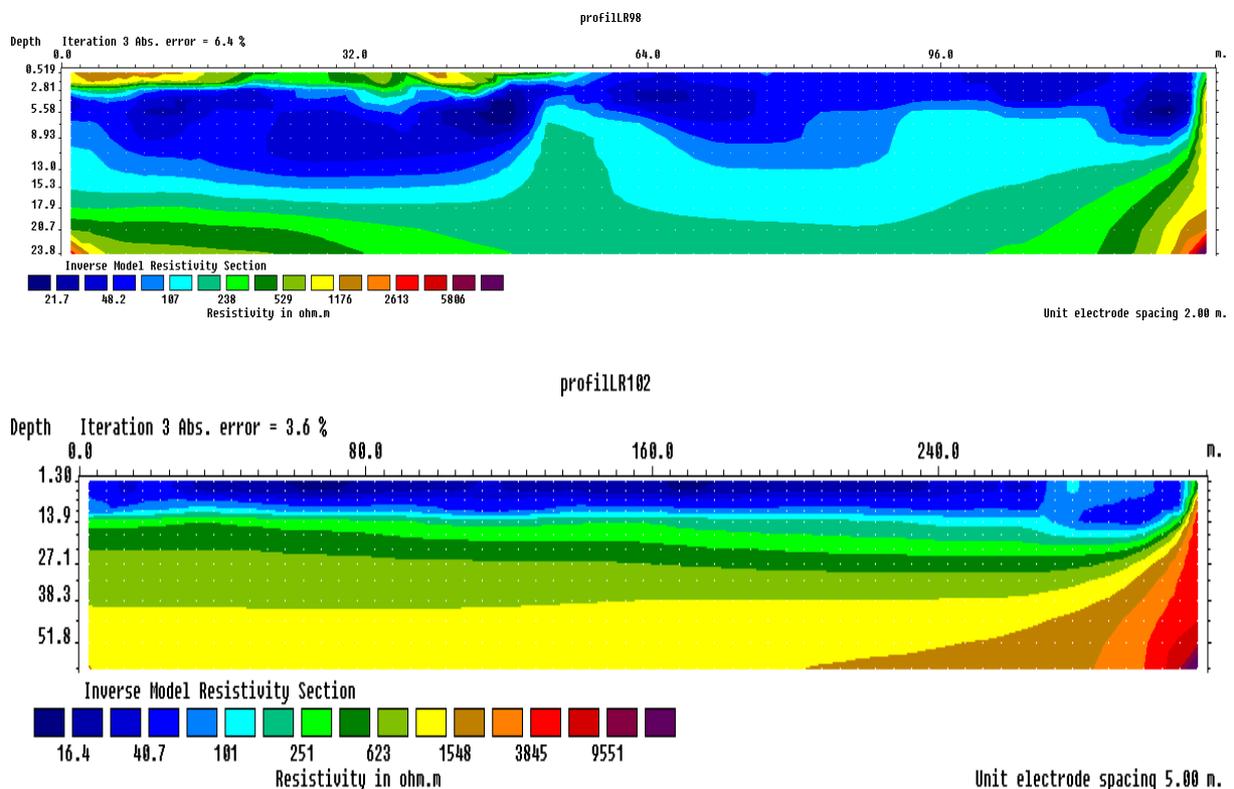


Figure 34: Modèles étendus des profils LR102 en haut et LR98 en bas.

Sur les deux sites représentés par les modèles ci dessus, le talus de la plaine se trouve au niveau des électrodes n°64.

Pour le modèle LR98, le talus est constitué par des matériaux ayant des résistivités supérieures à 1000 ohm.m. Ces matériaux sont conformément à la géologie en place, du calcaire en subsurface et de la roche cristalline en profondeur (granodiorite).

Le modèle LR102 lui aussi représente le talus de la plaine par des matériaux avec une résistivité supérieure à 1000 ohm.m mais les observations terrain montrent que ces matériaux sont de la grave latéritique consolidée.

Les modèles inversés des autres profils sont en annexe 1. Ainsi dans la même logique nous avons pu déterminer sur tous les sites la nature géologique des matériaux qui constituent les talus de la plaine. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

**Tableau VII: Nature géologique des limites de la plaine**

<b>profil</b>	<b>Nature géologique des talus</b>
LR00093	Grave latéritique consolidée en subsurface, granodiorite en profondeur
LR00094	Grès peu consolidé
LR00096	Grave latéritique consolidée
LR00098	Calcaire
LR00102	Grave latéritique consolidée en subsurface, granodiorite en profondeur
LR00106	cuirasse latéritique

Les résultats du tableau VII montrent qu'au niveau des sites étudiés, les talus de la plaine sont globalement constitués de matériaux imperméables. Mais il faudra noter que les résultats que nous avons à ce niveau ne sont que ponctuels.

### **III.2. Résultats des analyses granulométriques par tamisage**

Les analyses granulométriques effectuées sur les matériaux prélevés dans la plaine alluviale, montrent une distribution très variée des grains de différents diamètres. En effet les diamètres varient globalement entre 16 mm et moins de 0.08 mm. Cela donne lieu à des courbes à granulométrie étalée ou semi étalé, sauf à de rares endroits où nous obtenons des granulométries uniformes. Cette étude ne nous a malheureusement pas permis d'avoir les

dimensions exactes des matériaux  $< 0.08\text{mm}$  car la colonne de tamis utilisé s'arrête à  $0.08\text{mm}$ . Néanmoins à partir de l'allure des courbes on a pu déduire l'hétérogénéité des matériaux de la plaine, c'est globalement un mélange de gravier pour les plus gros diamètres (16 à  $6\text{mm}$ ) de sable pour les diamètres moyens ( $6$  à  $0.06\text{mm}$ ) et des silts et argiles pour les diamètres  $< 0.06\text{mm}$ . La courbe granulométrique de la figure 35 est celle d'un échantillon de matériaux prélevé à 2 mètres de profondeur dans le micro-forage PZRG13 situé dans la partie Sud de la plaine.

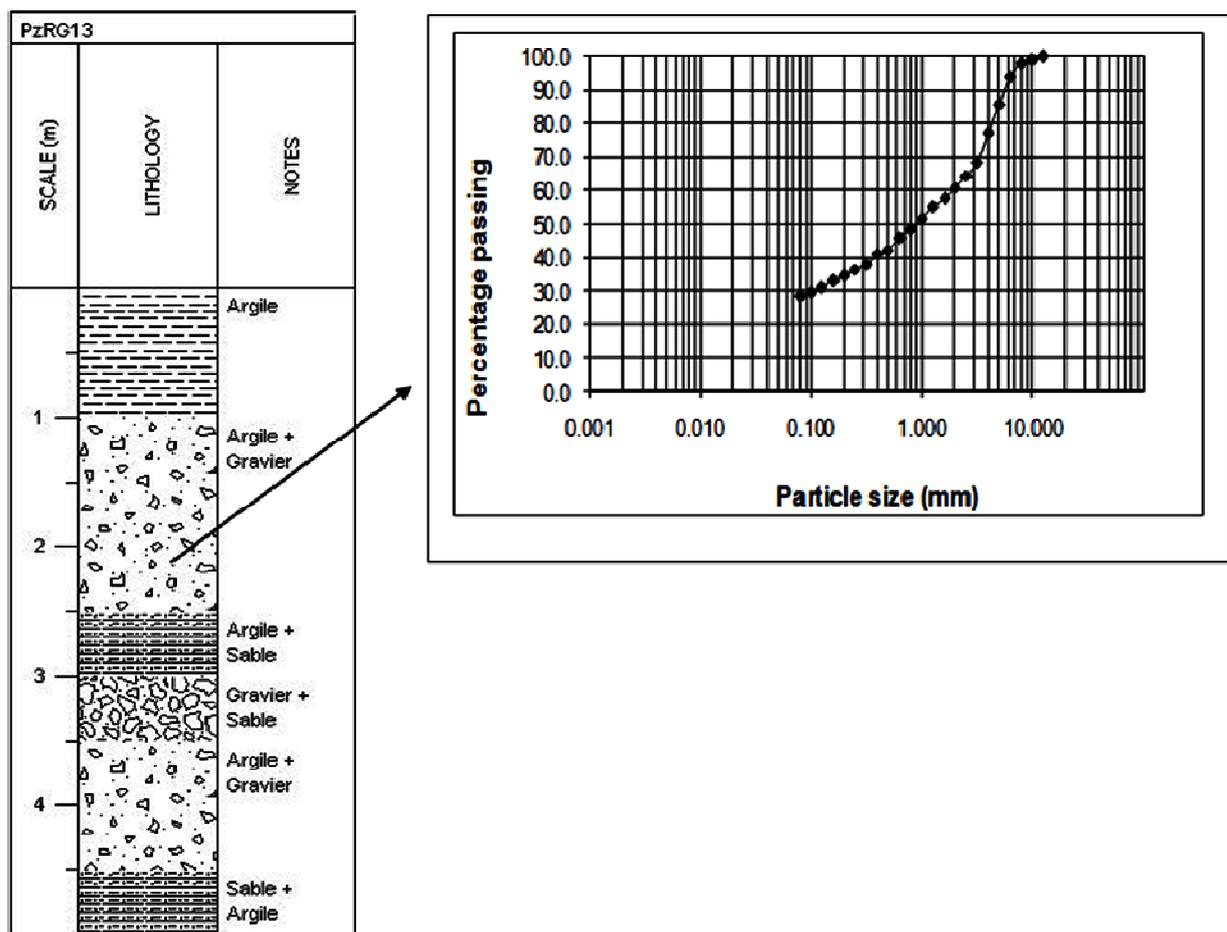


Figure 35: Résultat analyse granulométrique, sondage PZRG13\_profondeur 2 mètres

Lorsqu'on analyse la courbe granulométrique on remarque suivant sa forme quelle est étalée sur des matériaux dont les diamètres des grains varient de  $12\text{mm}$  à moins de  $0.08\text{mm}$ , ce qui est en harmonie avec la couche de la coupe lithologique (argile + gravier) construit sur la base d'un diagnostic tactile.

L'analyse d'un autre échantillon prélevé à 3 mètres de profondeur sur le forage PZRDX6 au Nord-ouest de la plaine est représentée par la figure 36.

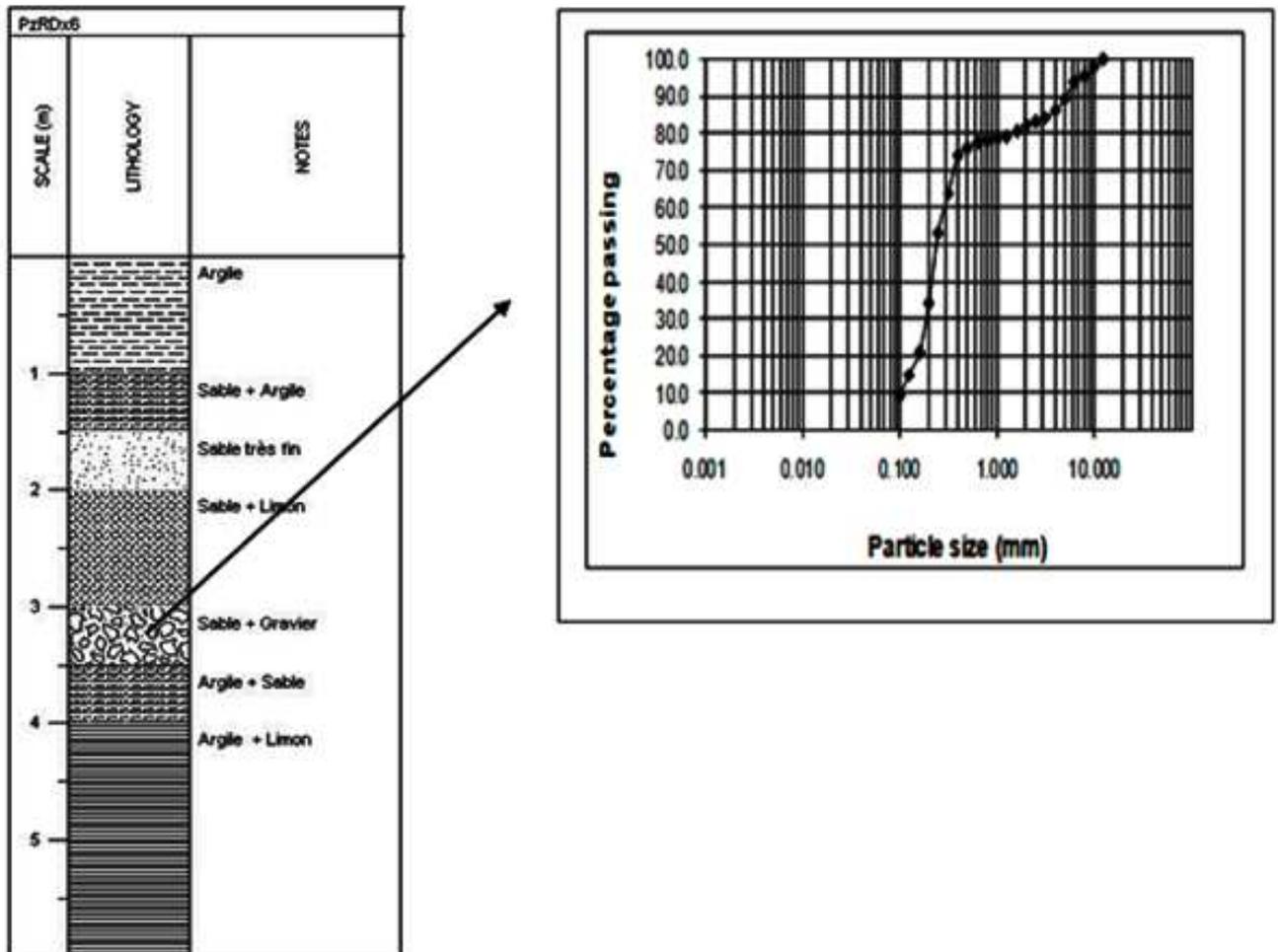


Figure 36: Résultat analyse granulométrique sondage PZRDX6-profondeur 3 mètres

La nature de l'échantillon prélevé à 2.5 m de profondeur a été d'abord déterminée par un diagnostic tactile, puis soumis à une analyse granulométrique par tamisage. Les deux techniques donnent à peu près les mêmes résultats à savoir du sable argileux

A l'Ouest de la plaine le tamisage sur l'échantillon prélevé à 2.5 mètres de profondeur dans l'ouvrage PZRDA donne les résultats suivants.

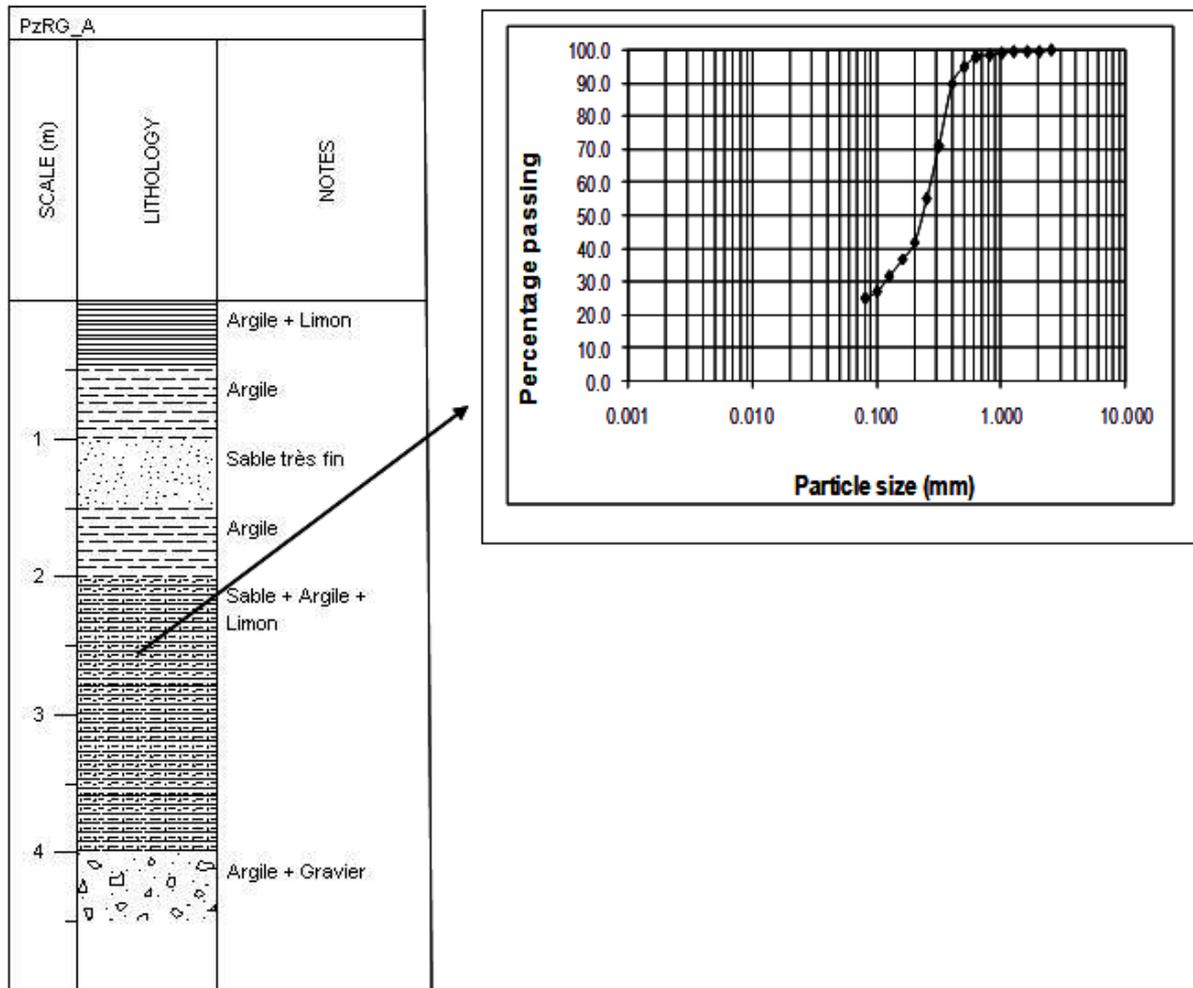


Figure 37: Résultat analyse granulométrique, sondage PZRDA profondeur 2.5 mètres

La forme de la courbe malgré qu'on ne puisse pas déterminer le coefficient d'uniformité est relativement semi étalée. Les diamètres des grains dans le matériau sont compris entre 2 et moins de 0.08mm. Nous sommes donc en présence d'un sable argileux comme il a été indiqué par le diagnostique tactile.

Compte tenu du grand nombre d'échantillons analysés, nous ne pouvons pas tous les présentés dans cette partie. Les résultats de l'analyse granulométrique par tamisage des autres échantillons figurent en Annexe 6.

## Conclusion

Les sols de la plaine alluviale de Karfiguéla sont en général très propices pour l'agriculture. Ceci explique qu'ils ont attiré de nombreuses populations d'éleveurs et agriculteurs, et que beaucoup de villages y ont été construits en dépit du risque d'inondation. Mais la diminution considérable du débit en saison sèche du cours d'eau ayant déployé l'importante plaine s'avère problématique. Pour pallier à cela, une solution a été prise.

En effet la solution adoptée était d'étudier la nappe alluviale afin qu'elle puisse constituer une source d'eau complémentaire aux paysans, leurs permettant ainsi de mener à bien les activités agro-pastorales en saison humide comme en saison sèche.

L'objectif de l'étude était de connaître non seulement la nature des matériaux constitutifs de l'aquifère alluvial mais aussi de connaître sa puissance sachant que ces deux paramètres jouent un rôle important dans la quantification de la ressource en eau souterraine. La tomographie des résistivités électriques associée au Protocole Wenner est la technique géophysique que nous avons utilisée pour cette étude. Elle est bien adaptée pour la caractérisation et la mise en évidence verticalement des couches horizontales. Pour appuyer et confirmer nos résultats géophysiques, nous avons effectués quarante-neufs (49) sondages destructifs (micro piézomètres) à la tarière, de 6 mètres de profondeur avec pour chacun son log stratigraphique conçu par diagnostic tactile à partir d'un échantillonnage à un pas de 0,5 mètre. Ces échantillons ont fait aussi l'objet d'une analyse granulométrique afin d'appuyer le diagnostic tactile et avoir une idée sur la distribution pondérale des grains de différents diamètres. A l'issue de cette analyse il ressort globalement des courbes à granulométrie étalée avec des grains de diamètre compris entre 16 mm et moins de 0.08 mm. Toutes les méthodes ont conduit relativement aux mêmes résultats, ce qui atteste de la fiabilité de ces études. Les mesures géophysiques nous ont permis de détecter des gammes de résistivités allant des plus faibles ( $< 100 \text{ ohm.m}$ ) pour les matériaux très conducteurs, en passant par les moyennes (100 à  $1000 \text{ ohm.m}$ ) pour finir aux plus fortes ( $> 1000 \text{ ohm.m}$ ). Ces valeurs de résistivités témoignent d'une hétérogénéité des matériaux au niveau de la plaine étudiée et peuvent être classés en trois principaux groupes conformément à la géologie: Les alluvions très argileuses constituant la majeure partie de la plaine avec des proportions allant jusqu'à 67% selon les sites ; du sable et du gravier occupant des proportions relativement faibles. La puissance de la plaine varie considérablement selon les sites, elle atteint les 38 mètres dans les zones ouest et sud, avec des épaisseurs saturées variant entre 19 et 37 mètres. Aujourd'hui, nous connaissons la tabulation, la nature et la granulométrie des différents matériaux de la plaine depuis la surface topographique jusqu'au

bedrock. Nous savons quels sont les éventuels réservoirs potentiels, leurs puissances, leurs épaisseurs saturées et non saturées ainsi que leurs profondeurs de localisation. Cela pourrait donc constituer une base de données solide pour une implantation future d'ouvrages productifs.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Besson. A, Cousin. I, Soumouelian, Boizard. H, Richard .G. (2004), Structural heterogeneity of the soil tilled layer as characterized by 2D electrical resistivity surveying, *Soil & Tillage Research*, 79, PP 239–249.

Chapelier.D. (2000), prospection électrique de surface. Cours online de géophysique. Université de Lausanne, PP 6-26.

Catérine.S.(2006), Profilage de résistivité électrique couplé capacitivement pour l'auscultation des milieux physiques pergélisolés, université de Laval, PP 1-20.

Cornet.J, Hentinger.R, Missey.J. Extension de l'alimentation en eau potable du syndicat de champagny 70 : Détermination de l'épaisseur de la Nappe Alluviale de la plaine du Rahin dans le secteur de champagny, BRGM/rapport final 45018 Orleans cedex, 18P.

Dhlin.T, Loke.M.H.(1998), Resolution of 2D Wenner Resistivity imaging as assessed by numerical modelling, *journal of Applied Geophysics* 38 237-249.

DGH. (2001), État des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion, programme gire, version finale, 251P.

François-Xavier. (2012), l'apport de l'outil géophysique pour la reconnaissance et la caractérisation des sites en archéologie préventive, méthodes et perspectives : exemples en Alsace, Thèse de doctorat de l'université pierre et marie curie, PP 51-67.

Froese.G, Derald.G, David.T.C. (2005), characterizing large river history with shallow geophysics: Middle Yukon River, Yukon Territory and Alaska, *Geomorphology* 67 PP 391-406.

Georges Hugot. (2002), A la recherche du Gondwana perdu, Aux origines du monde, U.M.R. 6012 du CNRS. (espace), PP 17-60.

Girard. J-F, Mieché.J-M, Coppo. N, Aunay.B. (2008), Methodologie d'imagerie électrique haute résolution des aquifères cotiers en milieu volcanique à la réunion.BRGM/RP-56612-FR-Rapport final, PP 27-48.

Guissimbana .C. (1997), Evalaution de la fonction capacitive des altérites : site expérimental de Sanon (Burkina Faso) .Thèse de doctorat de l'université d'Avignon et des pays de vaucluse, PP 135-169.

Jean.B, Frédéric .N, Elie.S,Serge.B,Samuel.W.(2009), prospection géophysique de la nappe alluviale dans la région de Nasso, rapport université de liège, DPT. ArGEnCo, Geo<sup>3</sup>, 49p.

Julien. (2010), Gestion des Eaux du Bassin de la Haute Comoé (Burkina Faso), projet WAIPRO, USAID, Institut international de Gestion de l'eau (IWMI) ,40P.

Marc.D, Anatoly. L. (2007), La caractérisation géophysique des aquifères par tomographie de la résistivité électrique et sondage de résonance magnétique, IRD-LTHE, *journées Gemme, Grenoble*, PP 1-13.

Michel.R, Jean-Claude.P, Diouf.S, Beauvais.A, Dione.F.(1999), Electrical imaging of lateritic weathering mantles over granitic and metamorphic basement of eastern Senegal, West Africa, *journal of Apply Geophysics* 41 , 335-334.

Ouedraogo.C. (2006), synthèse géologique de la région Ouest du Burkina Faso, *programme VREO*, PP 20-35.

Ponton. J. (2008), caractérisation hydro-géophysique par tomographie électrique d'un glissement de terrain argileux de type "coulé" à l'échelle de la parcelle et du versant, mémoire de fin d'étude, université Louis pasteur-strasbourg I, Institut de physique du globe, UMR-CNRS,80P.

Rasolomanana.E, Rasolondrazao.L, Randrianja.R, Robison.L, Ralaimaro.J, rakoto.H. (2011), Problèmes de pollution des ressources en eaux posés par les déchets industriels et ménagers dans la ville d'Antananarivo et de ses environs, *Madamines*, ISSN 2220-0681, vol. 2, PP 1-10.

Youssouf.D. (2010), Cartographie des zones socio-rurales du Burkina Faso. *outil d'aide à la planification pour la gestion de l'eau en agriculture*,FAO,AGWATER,MAHRH/DADI , PP 5-15.

Youcef.H.( 2006), Application des méthodes géophysiques à l'étude de deux sites (Kappelen et Grenchen) de l'aquifère poreux complexe du Seeland. Thèse de doctorat de la faculté des géosciences et de l'environnement de l'université de Lausanne, 237P.

### **Site internet**

[http://home.citycable.ch/andred/orbe/chap2/2\\_3/indexbottom.htm](http://home.citycable.ch/andred/orbe/chap2/2_3/indexbottom.htm)

<http://www.lenntech.fr/applications/irrigation/irrigation/eau-irrigation.htm>

<http://www.eau-direct.fr/gestion/usage.html>

<http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/23595/ch02.html>

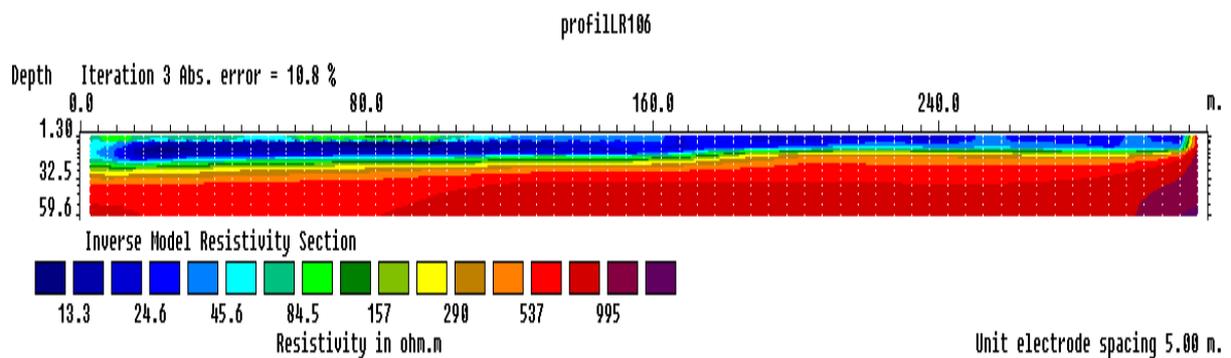
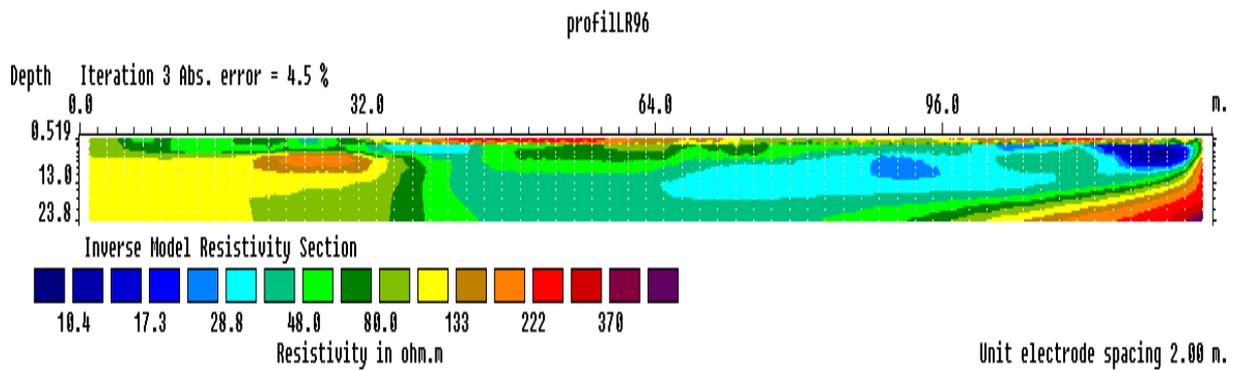
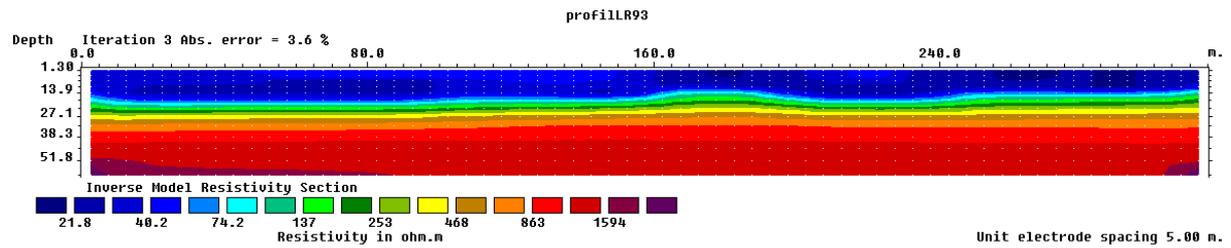
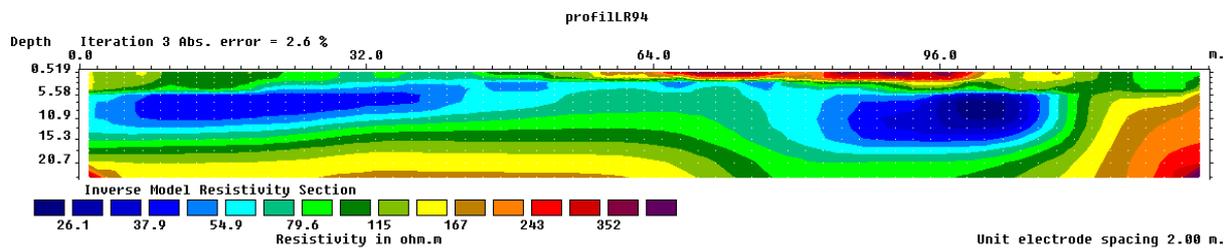
<http://home.hiwaay.net/~taylorc/toolbox/geography/geoutm.html>

## **ANNEXES**

**ANNEXE 1 : Caractéristiques des profils ERT**

Tomographie de la résistivité électrique, protocole wenner $\alpha$									
profil	points extrêmes	Coordonnées	Altitude point(m)	espacement électrode (m)	longueur profil (m)	direction profil	village/repère	code fichier	commentaire/remarque
PF1	pt1	N 10°42'54.3"	282	5	315	N55° ( NE)	Karfi (PRG13)	00093	profil situé en rive gauche. Obstacle à droite: présence de canal et de rizière.
		w 4°43'47.3"							
	pt2	N 10°41'11.0"	283						
		w 4°47'56.7"							
PF2	pt1	N 10°42'52.8"	286	2	126	N85° ( NE)	cascade(PZRD7)	00094	profil situé en rive droite
		w 4°49'16"							
	pt2	N 10°42'52.1"	288						
		w 4°49'20"							
PF3	pt1	N 10°42'31.8"	289	2	126	N85° ( NE)	cascade(PZRG6)	00096	présence de pilonne haute tension, profil situé en rive gauche
		w 4°48'51.6"							
	pt2	N 10°42'32.9"	290						
		w 4°48'47.7"							
PF4	pt1	N 10°32'36.7"	265	2	126	N250° (SW)	Pont militaire	00098	Rive gauche Affleurement de calcaire probablement, sur les talus
		w 4°46'50"							
	pt2	N10°32'38.4"	268						
		w 4°40'46.1"							
PF5	pt1	N 10°28'38.4"	263	5	315	N345°(NW)	Diarabakoko	00102	Rive droite Affleurement de conglomérat sur les talus
		w 4°47'06"							
	pt2	N 10°28'28.7"	272						
		w 4°47'02.8"							
PF6	pt1	N 10°38'54.7"	280	5	315	N260° (SW)	Tangrela	00106	Rive gauche Affleurement de conglomérat sur les talus
		w 4°48'41.0"							
	pt2	N 10°38'.51.8"	279						
		w 4°48'41.0"							
PF7	pt1	N 10°38'56"	283	2	126	N260° (SW)	Tangrela	00107	profil situé en rive droite
		w 4°49'12.1"							
	pt2	N 10°38'55.3"	283						
		w 4° 49'16.1"							
PF8	pt1	N 10°32'39.6"	275	5	315	N200 (SW)	pond Militaire	00110	une résistivité négative lors des mesures et plusieurs erreurs de type 3 et 4
		w 4°47'41.2"							
	pt2	N 10°32'30.5"	274						
		w 4°47'46.0"							

ANNEXE 2 : Résultats d'inversion ; modèles rectangulaires



**ANNEXE 3 : Caractéristiques des micro-piézomètres**

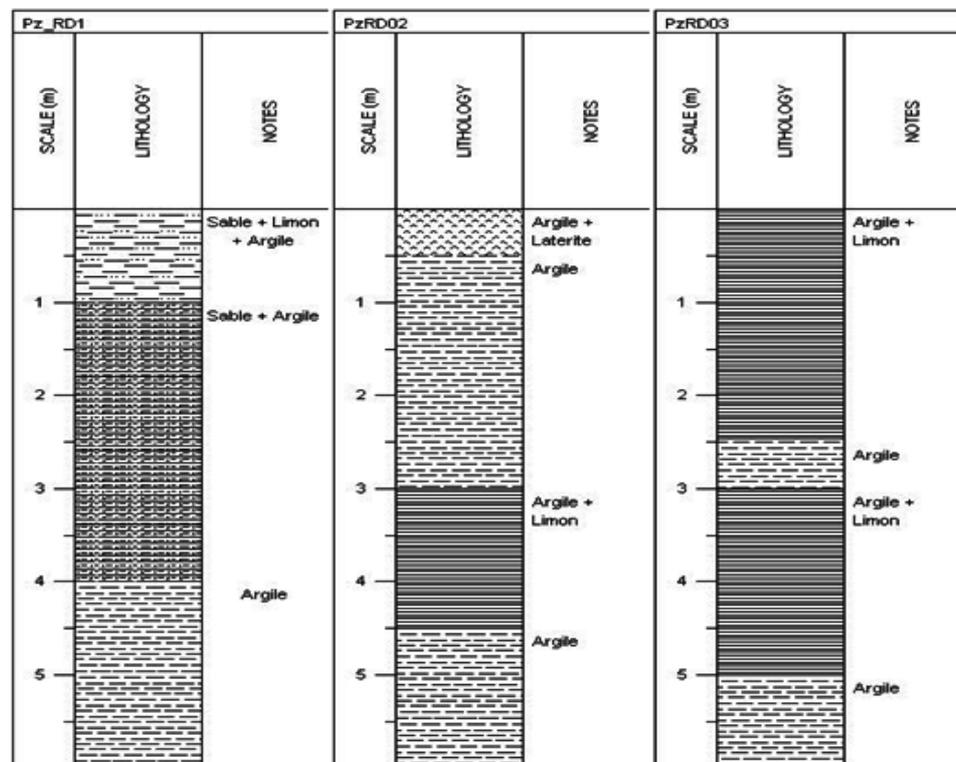
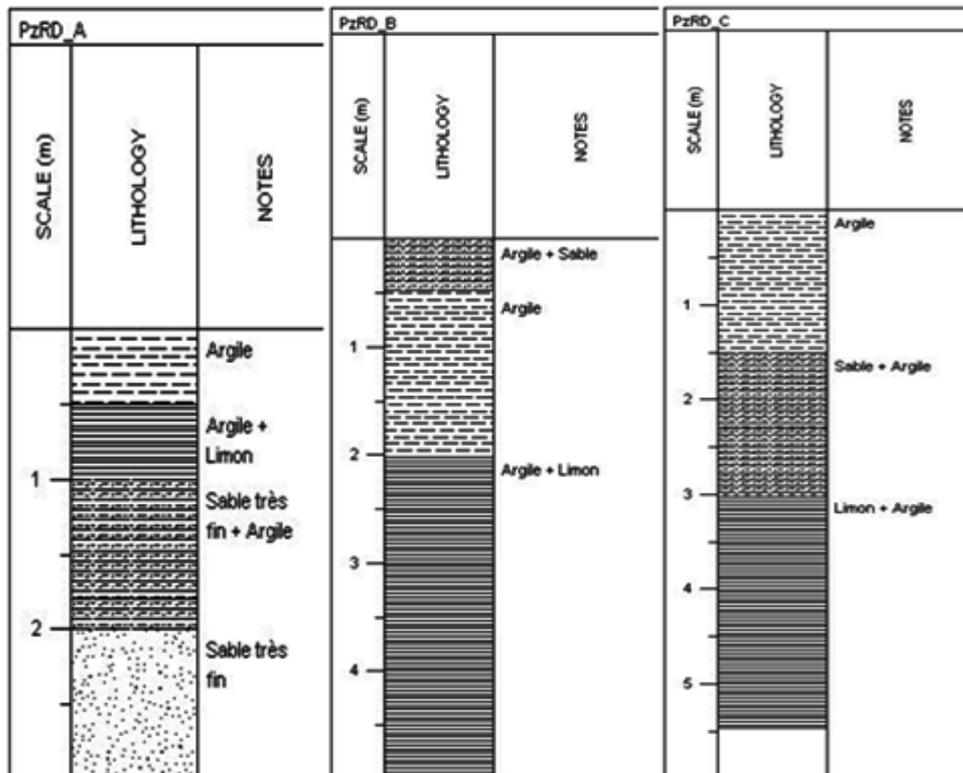
Micro-piézomètres	longitudes (DMS)	latitudes (DMS)	longitudes (UTM)	latitudes (UTM)	profondeurs (m)	niveaux statiques (m)	venues d'eau (m)	Dates de réalisation
<b>PzRd1</b>	4°43'12,5"	10°43'13,3"	311881,7478	1185511,1174	5,5	1,42	1,5	11/01/2013
<b>PzRg1</b>	4°47'47,1"	10°33'24,9"	303432,6498	1167479,8094	6	1,61	1,5	09/01/2013
<b>PzRd2</b>	4°43'48,0"	10°42'57,3"	310800,2468	1185025,5651	5,5	0,45	0,5	11/01/2013
<b>PzRg2</b>	4°46'51,8"	10°32'43,2"	305106,7074	1166188,9474	6	3	3,5	08/01/2013
<b>PzRd3</b>	4°47'43,8"	10°33'07,7"	303529,9495	1166950,7551	6	2,99	2,25	11/01/2013
<b>PzRg3</b>	4°46'46,5"	10°32'30,7"	305265,6716	1165803,9658	8	3,1	5	09/01/2013
<b>PzRd4</b>	4°46'51,4"	10°32'25,4"	305115,7580	1165641,9694	6	1,24	1,5	10/01/2013
<b>PzRg4</b>	4°46'35,9"	10°28'39,6"	305547,7963	1158701,5685	6	0,7	3	08/01/2013
<b>PzRd5</b>	4°46'57,9"	10°32'20,5"	304917,2636	1165492,5405	5	1,81	1,5	10/01/2013
<b>PzRg5</b>	4°46'40,0"	10°28'47,7"	305424,5128	1158951,1449	5,5	2,2	2	08/01/2013
<b>PzRd6</b>	4°47'07,1"	10°32'07,2"	304635,2000	1165085,4881	6	1,32	2	10/01/2013
<b>PzRd7</b>	4°46'37,2"	10°28'36,6"	305507,7410	1158609,6164	4	0,63	3	08/01/2013
<b>PzRd8</b>	4°46'52,8"	10°32'40,3"	305075,7950	1166100,0173	6	2,22	1,5	09/01/2013
<b>PzRg 6</b>	4°48'56,3"	10°39'01,8"	301389,0423	1177843,5083	4,5	1,6	1,5	27/12/2012
<b>PzRg 7</b>	4°48'55,9"	10°38'57,4"	301400,4085	1177708,2430	4,5	0,8	1	27/12/2012
<b>PzRg 8</b>	4°49'00,6"	10°38'40,5"	301254,5063	1177189,8113	3	1,09	1,3	27/12/2012
<b>PzRg 9</b>	4°49'03,9"	10°38'23,1"	301151,0661	1176655,7674	6	2,20	2,5	28/12/2012
<b>PzRg 10</b>	4°48'59,8"	10°37'57,2"	301271,0330	1175859,2355	4,5	1,77	2	28/12/2012
<b>PzRd 9</b>	4°48'56,4"	10°37'51,3"	301373,3232	1175677,3480	3	1,68	1,8	28/12/2012
<b>PzRd 10</b>	4°49'08,9"	10°37'57,0"	300994,3825	1175854,7102	5	1,35	1,5	28/12/2012
<b>PzRd 11</b>	4°49'16,6"	10°37'55,8"	300760,1074	1175819,2114	5,5	0,59	1	29/12/2012
<b>PzRd 12</b>	4°49'13,5"	10°38'12,2"	300857,2946	1176322,5651	3,5	1,92	2	29/12/2012
<b>PzRd 13</b>	4°49'11,9"	10°38'24,8"	300908,2006	1176709,4273	4	1,87	2	29/12/2012
<b>PzRd 14</b>	4°49'06,8"	10°38'38,1"	301065,6187	1177117,1737	4,5	1,96	2	29/12/2013
<b>PzRd 15</b>	4°49'11,0"	10°38'58,7"	300941,6704	1177750,8784	5	1,82	2	29/12/2013

## Caractérisation des matériaux et de la puissance de la plaine alluviale de karfiguéla par des investigations géophysiques

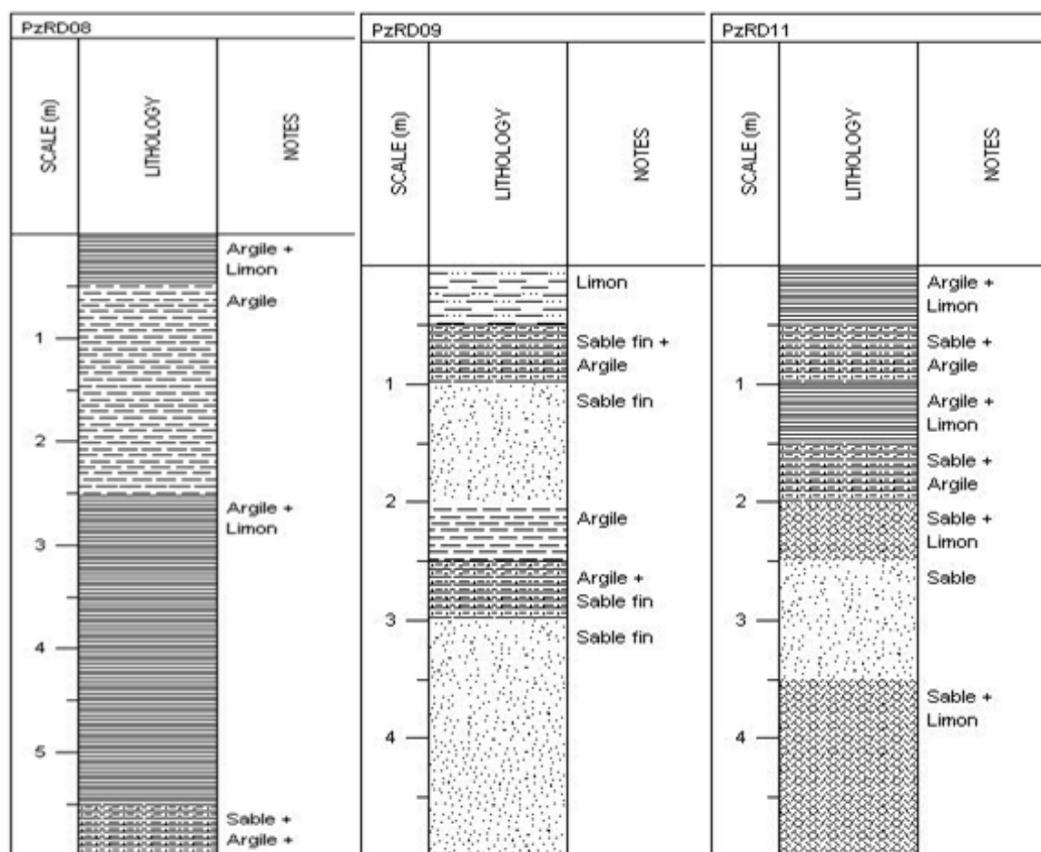
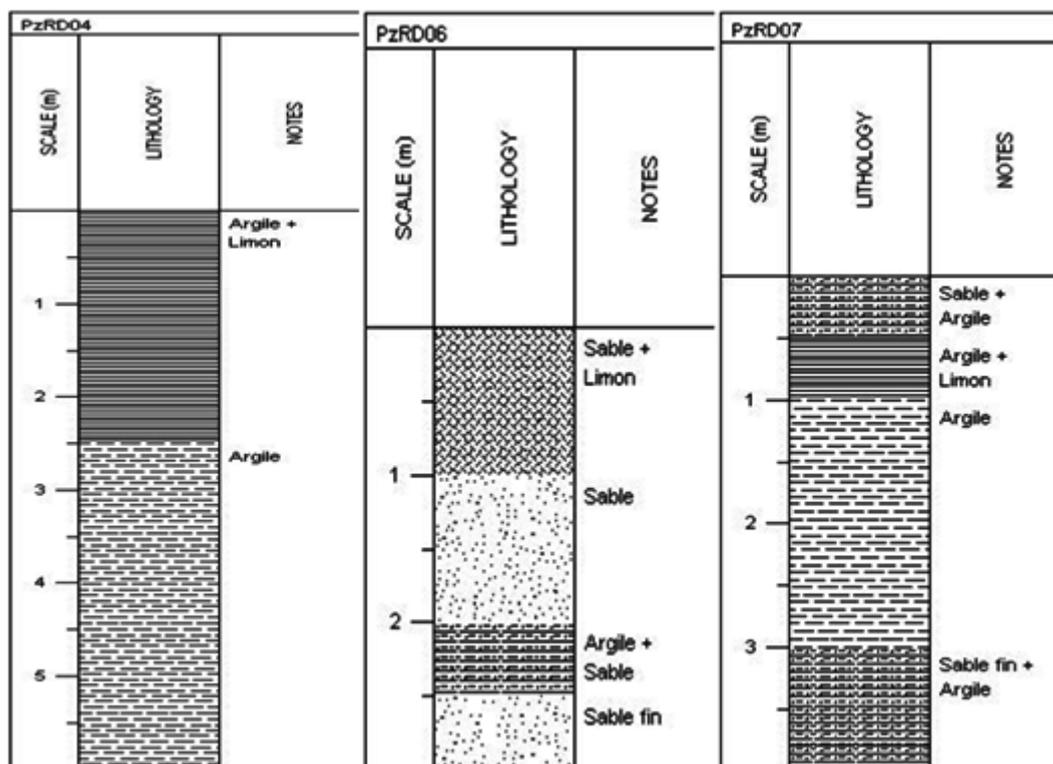
<b>PzRd 16</b>	4°49'27,3"	10°43'10,3"	300491,8731	1185484,4896	5	1,07	1,5	22/11/2012
<b>PzRd 17</b>	4°49'24,8"	10°43'01,7"	300566,2800	1185219,7943	6	1,16	2	22/11/2012
<b>PzRd 18</b>	4°49'11,3"	10°42'47,4"	300973,9338	1184777,9842	6	0,91	1	22/11/2012
<b>PzRd 19</b>	4°49'12,2"	10°42'47,73"	300946,6434	1184788,2854	6	0,52	1,5	22/11/2012
<b>PzRg 11</b>	4°49'12,2"	10°43'07,5"	300950,2326	1185395,7411	5,5	2,01	2	23/11/2012
<b>PzRg 12</b>	4°49'10,4"	10°42'57,6"	301006,1740	1185091,2112	4	1,85	1,5	23/11/2012
<b>PzRg 13</b>	4°49'05,2"	10°42'49,9"	301159,7611	1184853,7051	4	2,08	2	23/11/2012
<b>PzRg 14</b>	4°49'08,4"	10°42'46,1"	301061,8266	1184737,5199	6	1,64	1,5	23/11/2012
<b>PzRg 15</b>	4°49'01,7"	10°42'39,7"	301264,2748	1184539,6716	5	2,02	2,5	24/11/2012
<b>PzRg 16</b>	4°48'52,1"	10°42'33,5"	301554,8910	1184347,4512	6	1,7	2,5	24/11/2012
<b>PzRg 17</b>	4°48'47,9"	10°42'20,2"	301680,1232	1183938,0441	6	1,24	1,5	24/11/2012
<b>PzRd 20</b>	4°49'03,9"	10°42'31,3"	301195,8597	1184275,8215	3	???	2,20	29/11/2012
<b>PzRd 21</b>	4°48'54,4"	10°42'27,6"	301483,9277	1184166,5791	3,5	???	2	29/11/2012
<b>PzRd 22</b>	4°48'58,4"	10°42'18,2"	301360,6675	1183878,4701	6	1,22	1,2	29/11/2012
<b>PzRd 23</b>	4°48'54,2"	10°41'54,8"	301484,0743	1183158,7294	5	2,09	2	29/11/2012
<b>PzRd 24</b>	4°48'41,5"	10°41'34,5"	301866,3731	1182532,7240	4,30	0,81	1	30/11/2012
<b>PzRd 25</b>	4°48'18,3"	10°41'01,3"	302565,4829	1181508,4955	5	1,05	1	30/11/2012
<b>PzRd 26</b>	4°48'12,0"	10°40'53,9"	302755,6249	1181280,0064	5	1,46	2	30/11/2012
<b>PzRd 27</b>	4°48'10,3"	10°40'43,2"	302805,3736	1180950,9389	5,5	1,64	2	30/11/2012
<b>PzRg 18</b>	4°48'50,3"	10°42'04,9"	301604,4223	1183468,3651	3,5	1,63	1,5	01/12/2012
<b>PzRg 19</b>	4°48'40,2"	10°41'43,0"	301907,4140	1182793,6628	4	1,01	2	01/12/2012
<b>PzRg 20</b>	4°48'31,1"	10°41'24,3"	302180,6043	1182217,4664	4,5	????	2	01/12/2012
<b>PzRg 21</b>	4°48'21,3"	10°41'19,0"	302477,4868	1182052,8760	5,5	0,87	1	01/12/2012
<b>PzRg 22</b>	4°48'03,9"	10°40'58,1"	303002,5529	1181407,6189	5	3,80	3,5	01/12/2012

DMS : Degré Minute Seconde ; **PzRg** : micro-piézomètre en rive gauche ; **PzRd** : micro-piézomètre en rive droite.

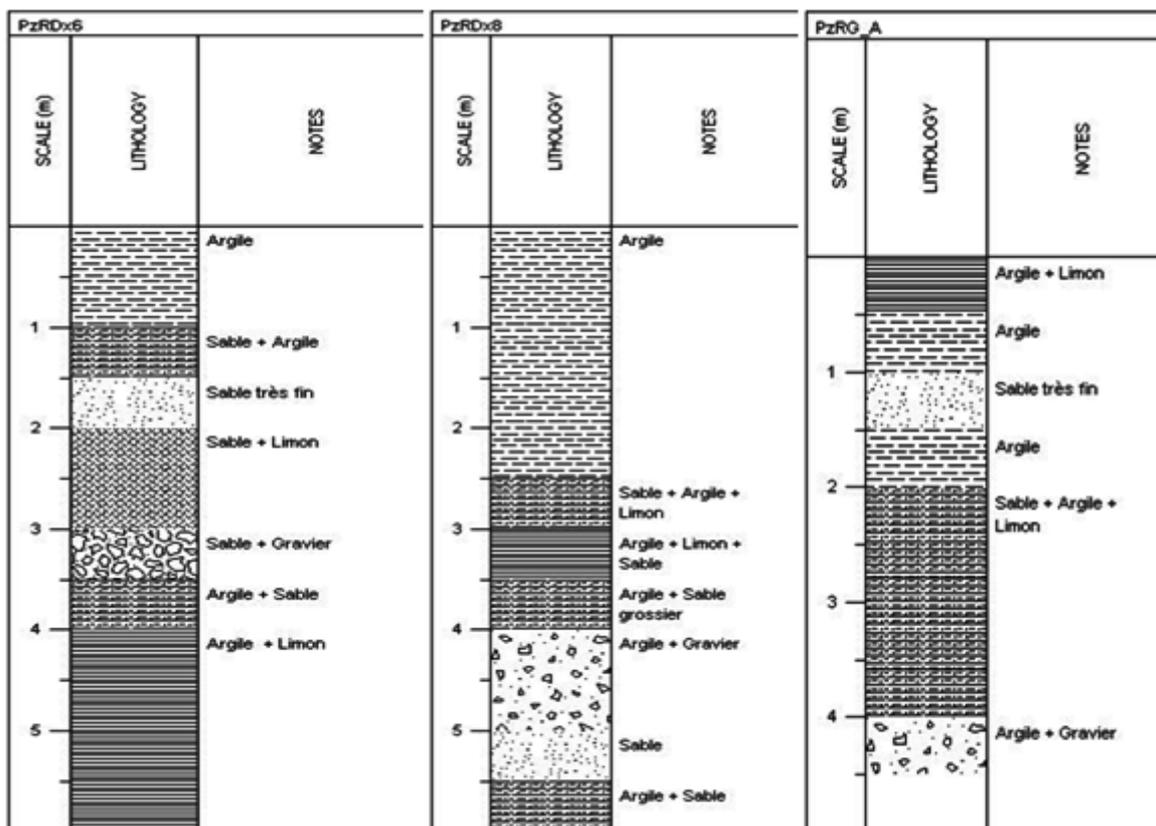
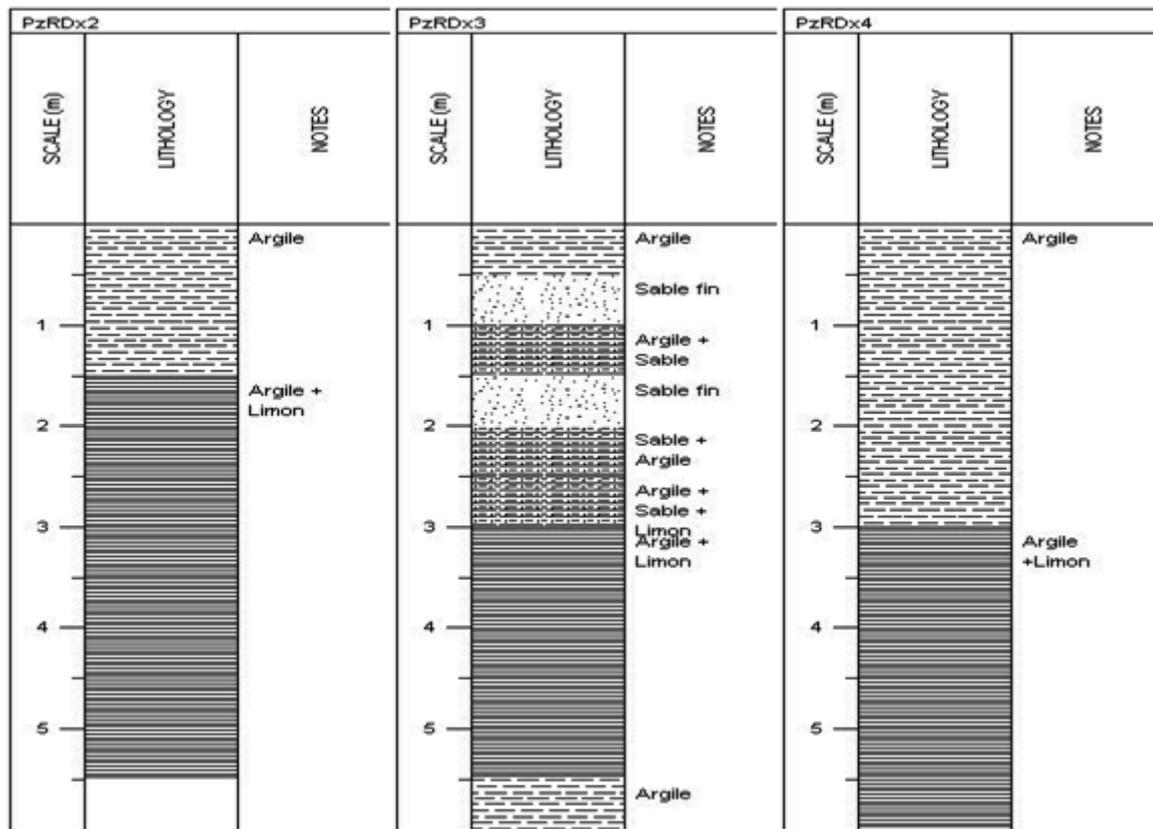
**ANNEXE 4 : Logs stratigraphiques des micro-piezometres de la plaine**



Caractérisation des matériaux et de la puissance de la plaine alluviale de karfiguéla par des investigations géophysiques



Caractérisation des matériaux et de la puissance de la plaine alluviale de karfiguéla par des investigations géophysiques



Annexe 5 : Classification géotechnique des sols

Caractérisation des matériaux et de la puissance de la plaine alluviale de karfiguéla par des investigations géophysiques

SEUILS GRANULOMETRIQUES POUR DIVERS PAYS		60	20,0	6,0	2,0	0,6	0,4	0,2	0,06	0,02	0,006	0,002
<b>Atterberg (1905) Nomencl. Routière</b>	Cailloux		Graviers		Sables gros   fins				Limons		Argiles	
<b>British Standard System</b>	Cailloux		Graviers		Sables gros   moyens   fins				Limons gros   moyens   fins		Argiles	
<b>Sté Autrichienne de recherches routières</b>	Cailloux		Graviers		Sables gros   fins				Limons		Argiles	
<b>Massachus. Instit. of Technology</b>	Cailloux		Graviers		Sables				Limons		Argiles	
<b>Sté Allemande de Rech. Rout. ; DIN 4022</b>	Cailloux		Graviers gros   moyens   fins		Sables gros   moyens   fins				Limons		Argiles	
<b>Suisse Norme S.N.V.</b>	Cailloux		Graviers		Sables				Limons		Argiles	
<b>C.R.R. Bruxelles Belgique</b>	Cailloux Fraction (VI)		Graviers Iv)		Sables gros (IV)   fins (III)				Limons (II)		Argiles (I)	
<b>A.S.T.M.</b>	Cailloux		Graviers gros   fins		Sables gros   fins				Limons		Argiles	
<b>U.S.C.S. Corps of engineers</b>	Cailloux		Graviers gros   fins		Sables gros   moyens   fins				Limons et (ou) Argiles			
<b>A.A.S.H.O.</b>	Cailloux		Graviers gros   moyens   fins		Sables gros   moyens   fins				Limons		Argiles	
<b>Civils Aeronautics Administration (U.S.Q.)</b>			Graviers		Sables gros   fins				Limons		Argiles	
		76,2	25,4 19,1	9,52 4,76	2,0	0,42 0,25	0,074 0,05				0,005	

**Annexe 6 : Altitude Terrain naturel à l'emplacement des forages**

piézomètres	X	Y	Z_CORRIGE
PZRG13	303008.679000	1181507.056000	279.873000
PZRG12	302478.096000	1182149.812000	278.852000
PZRG11	302176.814000	1182310.065000	279.950000
PZRG10	301901.212000	1182887.480000	278.837000
PZRG9	301599.068000	1183565.515000	278.499000
PZRG7	301676.695000	1184033.360000	279.075000
PZRG6	301554.520000	1184446.109000	280.434000
PZRG3	301159.305000	1184953.712000	283.797000
PZRG1	300954.944000	1185488.553000	283.562000
PZRG2	301003.414000	1185187.908000	282.332000
PZRG5	301264.484000	1184637.327000	281.773000
PZRG4	301060.894000	1184833.595000	280.544000
PZRD4	300940.834000	1184869.284000	281.557000
PZRD3	300971.956000	1184869.806000	281.557000
PZRD2	300561.161000	1185317.574000	286.802000
PZRD1	300490.536000	1185577.969000	286.615000
PZRD6	301193.178000	1184373.635000	285.576000
PZRD7	301481.841000	1184260.725000	284.243000
PZRD8	301356.712000	1183973.503000	282.601000
PZRD9	301482.975000	1183255.664000	281.593000
PZRD10	301868.192000	1182633.579000	282.057000
PZRD11	302562.458000	1181607.034000	280.498000
PZRD12	302753.971000	1181375.113000	279.871000
PZRD13	302804.642000	1181048.131000	280.479000
PZRGA	301386.184000	1177938.661000	277.611000
PZRGB	301402.233000	1177803.777000	278.075000
PZRGD	301252.471000	1177283.386000	275.921000
PZRGE	301149.340000	1176748.022000	273.150000
PZRGF	301271.365000	1175954.995000	269.348000
PZRDA	301370.377000	1175767.911000	268.718000
PZRDB	300987.154000	1175942.918000	268.727000
PZRDC	300755.465000	1175913.062000	268.253000
PZRDD	300853.899000	1176413.909000	272.013000

Caractérisation des matériaux et de la puissance de la plaine alluviale de karfiguéla par des investigations géophysiques

PZRDE	300904.468000	1176803.151000	270.763000
PZRDF	301064.667000	1177212.337000	273.813000
PZRDG	300938.052000	1177842.118000	280.201000
PZRGX2	305100.850000	1166283.552000	255.454000
PZRGX3	305260.341000	1165897.500000	257.759000
PZRDX8	305076.233000	1166195.754000	256.103000
PZRDX5	304912.976000	1165585.346000	258.040000
PZRDX6	304632.451000	1165178.597000	257.679000
PZRDX4	305111.614000	1165738.415000	256.895000
PZRDX3	303526.588000	1167046.310000	261.722000
PZRGX1	303432.711000	1167569.667000	261.851000
PZRGX5	305424.764000	1159044.157000	262.679000
PZRGX4	305547.236000	1158791.291000	262.800000
PZRDX7	305507.370000	1158703.640000	260.651000
PZRDX1	311882.717000	1185604.987000	282.423000
PZRDX2	310797.253000	1185119.678000	286.390000

**Annexe 7 : photos terrains**



Levé topographique au  
GPS Différentiel



Acquisition des données



Connexion Cable-système  
d'acquisition-résistivimètre



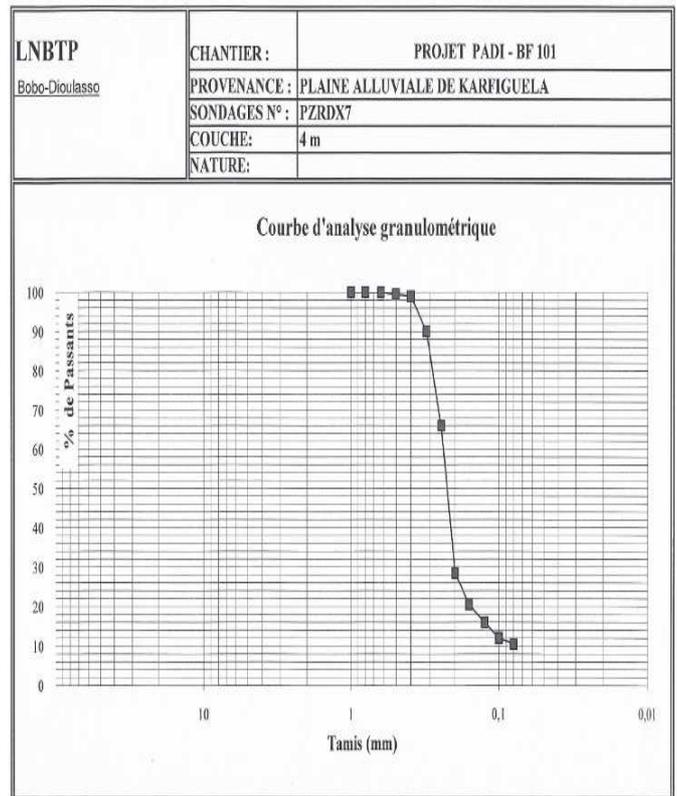
Mesure de résistivité  
profil ERT

**Annexe 8 : Résultats Analyses granulométrique**

**ANALYSE GRANULOMETRIQUE**

CHANTIER : PROJET PADI-BF 101  
 PROVENANCE : PLAINE ALLUVIALE DE KARFIGUELA  
 NATURE :  
 PK / PROFIL :  
 SONDAGE : PZRDX7  
 COUCHE : 4 m

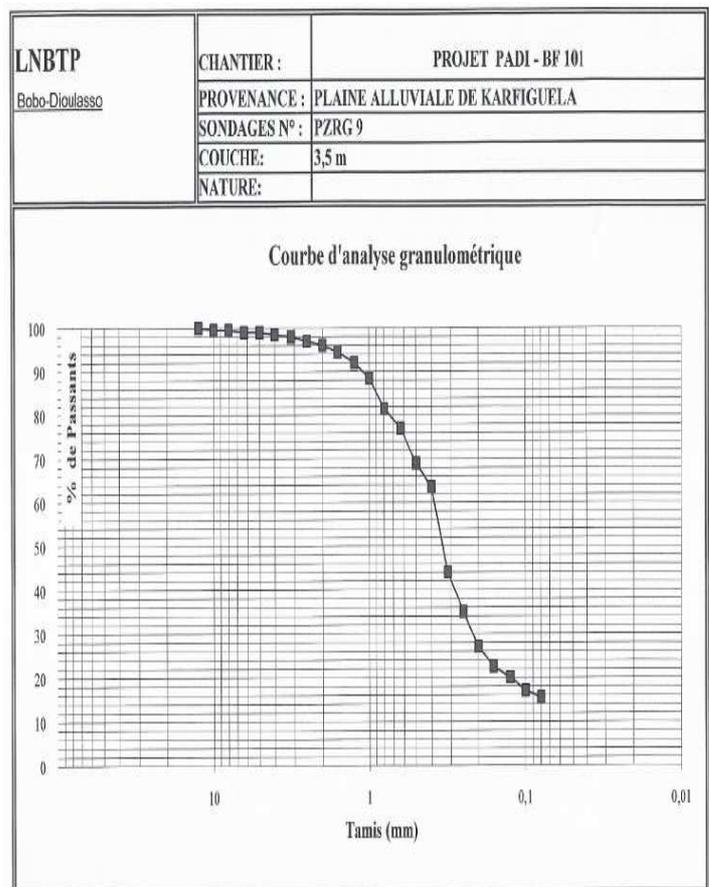
TAMIS AFNOR		PASSANTS
(mm)	Module	(%)
100	51	
80	50	
63	49	
50	48	
40	47	
31,5	46	
25	45	
20	44	
16	43	
12,5	42	
10	41	
8	40	
6,3	39	
5	38	
4	37	
3,15	36	
2,5	35	
2	34	
1,6	33	
1,25	32	
1	31	100,0
0,8	30	100,0
0,63	29	100,0
0,5	28	99,5
0,4	27	99,0
0,315	26	90,0
0,25	25	66,0
0,2	24	28,5
0,16	23,0	20,5
0,125	22,0	16,0
0,1	21,0	12,0
0,08	20,0	10,5



**ANALYSE GRANULOMETRIQUE**

CHANTIER : PROJET PADI -BF 101  
 PROVENANCE : PLAINE ALLUVIALE DE KARFIGUELA  
 NATURE :  
 PK / PROFIL :  
 SONDAGE : PZRG 9  
 COUCHE : 3,5 m

TAMIS AFNOR		PASSANTS
(mm)	Module	(%)
100	51	
80	50	
63	49	
50	48	
40	47	
31,5	46	
25	45	
20	44	
16	43	
12,5	42	100,0
10	41	99,5
8	40	99,5
6,3	39	99,0
5	38	99,0
4	37	98,5
3,15	36	98,0
2,5	35	97,0
2	34	96,0
1,6	33	94,5
1,25	32	92,0
1	31	88,5
0,8	30	81,5
0,63	29	77,0
0,5	28	69,0
0,4	27	63,5
0,315	26	44,0
0,25	25	35,0
0,2	24	27,0
0,16	23,0	22,5
0,125	22,0	20,0
0,1	21,0	17,0
0,08	20,0	15,5

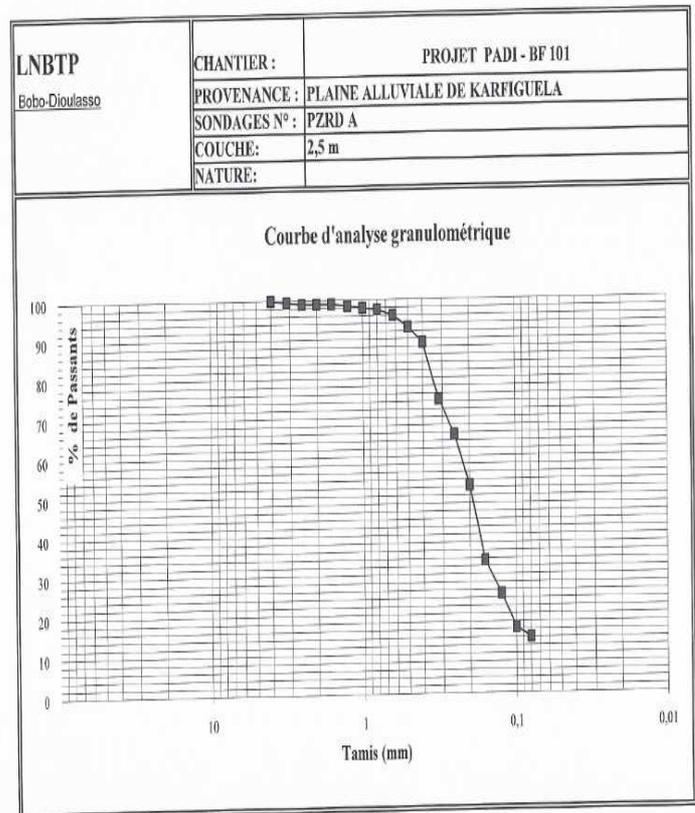


# Caractérisation des matériaux et de la puissance de la plaine alluviale de karfiguélia par des investigations géophysiques

## ANALYSE GRANULOMETRIQUE

**CHANTIER :** PROJET PADI - BF 101  
**PROVENANCE :** PLAINE ALLUVIALE DE KARFIGUELA  
**NATURE :**  
**PK / PROFIL :**  
**SONDAGE :** PZRD A  
**COUCHE :** 2,5 m

TAMIS AFINOR		PASSANTS
(mm)	Module	(%)
100	51	
80	50	
63	49	
50	48	
40	47	
31,5	46	
25	45	
20	44	
16	43	
12,5	42	
10	41	
8	40	
6,3	39	
5	38	
4	37	100,0
3,15	36	99,5
2,5	35	98,0
2	34	99,0
1,6	33	99,0
1,25	32	98,5
1	31	98,0
0,8	30	97,5
0,63	29	96,0
0,5	28	95,0
0,4	27	89,0
0,315	26	74,5
0,25	25	65,5
0,2	24	52,5
0,16	23,0	35,5
0,125	22,0	25,0
0,1	21,0	16,5
0,08	20,0	14,0



# Caractérisation des matériaux et de la puissance de la plaine alluviale de karfiguéla par des investigations géophysiques

## ANALYSE GRANULOMETRIQUE

**CHANTIER :** PROJET PADI -BF 101  
**PROVENANCE :** PLAINE ALLUVIALE DE KARFIGUELA  
**NATURE :**  
**PK / PROFIL :**  
**SONDAGE :** PZRG 13  
**COUCHE :** 4 m

TAMIS AFNOR		PASSANTS
(mm)	Module	(%)
100	51	
80	50	
63	49	
50	48	
40	47	
31,5	46	
25	45	
20	44	
16	43	
12,5	42	
10	41	
8	40	
6,3	39	100,0
5	38	99,5
4	37	99,5
3,15	36	98,0
2,5	35	97,5
2	34	96,0
1,6	33	92,0
1,25	32	87,0
1	31	80,5
0,8	30	71,5
0,63	29	65,0
0,5	28	58,5
0,4	27	55,0
0,315	26	48,5
0,25	25	45,0
0,2	24	40,0
0,16	23,0	35,5
0,125	22,0	33,0
0,1	21,0	29,5
0,08	20,0	28,0

