

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Khider- Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique



جامعة محمد خيضر – بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري

Ref : /2018

Mémoire de Master

2^{ème} année

Option : Ouvrage Hydraulique

THEME

**PROSPECTION PAR SONDAGE ELECTRIQUE
DE LA NAPPE ALLUVIALE DE OUED BISKRA**

Etudiant :

Oubaida LOMRI

Encadreur :

Dr. Abdallah LABADI

PROMOTION : Juin 2018

Dédicace

Ce travail est dédié à mon père "LOMRI Ahmed Omar Mounir" à titre poste mortem, hélas décédé trop tôt pour goûter à la réussite de son unique fils puisse dieu l'avoir en sa sainte miséricorde.

A la mémoire de mon oncle Djeloul LOMRI & mon cousin EL HAMEL Zakaria, je n'oublierai jamais leur sourire et leur bonne humeur.

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans les sacrifices consentis par ma mère « BENSELAMA Fatiha », ses précieux conseil ses encouragements. Ma chère maman reçoit le fruit de ta patience.

À mes deux sœurs "Semicha & Chayma" qui ont été des exemples de persévérance de courage et de bonté.

À ma grande mère "BENSELAMA Oumnoun" qui a été toujours présente pour moi avec son amour et son affection

À ma famille paternelle et maternelle pour leur soutiens et encouragement, merci pour votre affection.

À M. LABADI A.S. pour m'avoir accordé sa confiance et son assistance.

À mes cousins, cousines et mes amis " Ramla, Roufieda, Fatouma, Khalil, Abir, hafed, Djoumana, Malek, Said, Hakou, Abdou, Mohamed, oussama, yaqqoub, faycel, ..

Remercîment

Je remercie Dieu le tout puissant et le miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience pour accomplir ce modeste travail.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma gratitude à mon encadreur M. Labadi pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion

Mes remerciements vont également à tous mes professeurs du département de génie civil et d'hydraulique durant les années d'étude, qui nous ont éclairé le chemin de la recherche

A ma famille et mes amis qui, par leurs prières et leurs encouragements, j'ai pu surmonter tous les obstacles.

Je tiens à remercier tous mes amis (Mohamed, Oussama, Abdou, Yaaqoub, Faysal, Abderezzak, Islam Zakaria ...) qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie enfin tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réussite de ce travail et qui n'ont pas été cités ici.

RESUME

La méthode de tomographie de résistivité électrique (TRE) est l'une des méthodes les plus importantes en géophysique appliquée à l'hydrogéologie. La mesure d'une des propriétés physiques des formations géologiques (la résistivité) et son inversion à l'aide du logiciel RES2dinv donne des profils sous forme de pseudo section. Ces dernières représentent la répartition des résistivités en 2D et aide à bien comprendre la géométrie des aquifères.

Ce présent travail repose sur l'application de la méthode de tomographie à l'étude de la structure de la nappe alluviale de oued Biskra.

Mot clés : Tomographie, résistivité, géophysique, nappe alluviale

ABSTRACT

The electrical resistivity tomography (ERT) method is one of the most important methods in geophysics applied to hydrogeology. The measurement of one of the physical properties of the geological formations (resistivity) and its inversion using the RES2dinv software gives profiles in the form of a pseudo section. These introduce the distribution of resistivities in 2D and help to understand the geometry of aquifers. This actual study is based on the application of the tomography method to the study of the structure of the alluvial layer of oued Biskra.

Key words: tomography, resistivity, geophysics, alluvial layer.

المخلص.

تعتبر طريقة التصوير المقطعي للمقاومة الكهربائية واحدة من أهم الطرق الجيوفيزيائية المطبقة في ميدان الهيدروجيولوجيا. لقياس أحد الخصائص الفيزيائية للتكوينات الجيولوجية (المقاومة) ومعالجتها باستخدام برنامج RES2dinv يعطي ملفات تعريف في شكل مقطع افتراضي. وهذه تمثل توزيع المقاومة في D2 وتساعد على فهم هندسة طبقات المياه الجوفية.

يعتمد هذا العمل على تطبيق طريقة التصوير المقطعي على دراسة بنية الطبقة الغرينية من وادي بسكرة.

الكلمات المفتاحية: التصوير المقطعي، المقاومة، الجيوفيزيائية.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I

Les méthodes géophysiques appliquées en hydrogéologie

I.1	Introduction.....	3
I.2	La conductibilité liquide électrolytique	3
I.2.1	La qualité de l'électrolyte	3
I.2.2	La salinité	4
I.2.3	La température	4
I.3	Méthodes géophysiques et principe de mesure.....	5
I.3.1	Les méthodes électriques.....	5
I.3.2	Le sondage électrique vertical (SEV).....	6
I.3.3	La Trainé électrique.....	9
I.3.4	Méthodes électromagnétiques	12
I.3.5	Les méthodes sismiques	13
I.4	Conclusion	16

Chapitre II

Appareillage de géophysique électrique

II.1	Introduction.....	17
II.2	Ohmega Résistivimètre	17
II.3	Résistivimètre SYSCAL PRO (IRIS Instrument).....	18
II.4	Resistivimetre abem terrameter SAS1000	19
II.5	Resistivimetre 4point Light 10W.....	19
II.6	Geoseeker (Nouveau détecteur d'eau et cavité)	20
1.6.1	Scan Actif (précis).....	20
1.6.2	Scan Actif (rapide).....	21

1.6.3	Scan Passif.....	21
II.7	Saris	22
II.8	Logiciel d'inversion 2D: Res2Dinv.....	26
1.8.1	Introduction	26
1.8.2	Importation des données.....	26
1.8.3	Quelques paramètres pouvant être modifiés.....	27
1.8.4	L'inversion	28
1.8.5	Visualisation du résultat de l'inversion.....	28
II.9	Protocole de mesure.....	29
II.10	Interpretation des pseudo-sections et modeles de resistivite	29
1.10.1	Définition d'une pseudo-section	29
1.10.2	Le modèle d'inversion.....	30
1.10.3	Pseudo-section calculée.....	30
II.11	Conclusion	31

Chapitre III

La nappe alluviale de Oued Biskra

III.1	Introduction.....	32
III.2	La nappe des alluvions de l'oued BISKRA.....	32
III.1	Description de l'aquifère alluvionnaire	33
III.3	Caractéristiques de la nappe.....	34
III.3.1	Historique de l'exploitation de la nappe alluvionnaire.....	35
III.3.2	La piézométrie	36
III.3.3	La transmissivité.....	36
III.3.4	La porosité efficace.	39
III.3.5	Conditions d'alimentation	39
III.3.6	Alimentation de la nappe.....	40
III.2	Conclusion	40

Chapitre IV

Application de la tomographie à la nappe alluviale de Oued Biskra

IV.1	Introduction.....	42
IV.2	Organisation et déroulement d'une campagne	42
IV.3	Précautions de mise en œuvre sur le terrain.....	43
IV.4	Stratégie de prospection.....	44
IV.5	Traitement des données	45
IV.1.1	Concept d'inversion.....	45
IV.1.2	Acquisition des données	46
IV.6	Prospection le long du profil N°1	46
IV.1.3	Profil pour n=17	49
IV.1.4	Pour n=5	52
IV.1.5	Pour n=10	54
IV.7	Prospection le long du profil N°2	55
IV.8	Conclusion	59
	Conclusion générale	60
	Références bibliographiques.....	61

Liste des figures

Figure 1 : Classification de différents sols, roches et liquides du point de vue de leur résistivité.	5
Figure I.2 : Principe de la prospection électrique par courant continue.....	7
Figure I.3 : Dispositif de Schlumberger	8
Figure I.4 : Types de courbes électriques à trois couches (Zohdy 1974).....	9
Figure I.5 : La traînée de résistivité électrique	10
Figure 6 : Illustration du principe d'acquisition (Dispositif Wenner)	10
Figure 7 : Arrangement des électrodes pour une acquisition 3D	11
Figure I.8 : Différentes configurations, ainsi que le coefficient géométrique K.	11
Figure I.9 : Etapes pour l'obtention du modèle d'une imagerie électrique.....	12
Figure I.10 : Méthode sismique réflexion	14
Figure II.1 : Ohmega-Résistivimètre.....	17
Figure II.2 : Résistivimètre SYSCAL PRO	18
Figure II.3 : Résistivimètre TERRAMETER SAS1000.....	19
Figure II.4 : Résistivimètre 4POINT LIGHT 10W	20
Figure II.5 : GEOSEEKER	21
Figure II.6 : Electrode de mesure et sa bobine de raccordement	22
Figure II.7 : système SARIS Scintrex	22
Figure II.8 : Description du clavier de Résistivimètre SARIS	24
Figure II.9 : Fonction/Touches alphanumériques	25
Figure II.10 : Direction/Signe	25
Figure II.11 : Emplacement des électrodes	26
Figure II.12 : Elimination des valeurs aberrantes	27
Figure II.13 : Carte de pseudo-section	29
Figure II.14 : Modèle d'inversion.....	30
Figure III.1 : Situation géographique de la nappe alluviale de Oued Biskra	33
Figure III.2 : Caractère lithologique et hydrogéologique du forage « F3 »	34
Figure III.3 : Carte piézométrique (SCET COOP MARS 1967).	37
Figure III.4 : Carte des transmissivités (SCET COOP MARS 1967).	38
Figure IV.1 : Système d'acquisition SARIS de Scintrex et les câbles d'imagerie.....	45
Figure IV.2 : Profil N°1.....	47

Figure IV.3 : Log stratigraphique du forage B1	48
Figure IV.4 : Pseudo-section du profil N°1 (n=17).....	49
Figure IV.5 : Elimination des valeurs aberrantes sur le profil N°1	49
Figure IV.6 : Inversion de la pseudo-section du profil N°1	51
Figure IV.7 : Principe de construction d'une pseudo-section pour la configuration Wenner ..	52
Figure IV.8 : Pseudo-section du profil N°1 avec n = 5	52
Figure IV.9 : Elimination des valeurs aberrantes sur le profil N°1 avec n=5	53
Figure IV.10 : Inversion de la pseudo-section du profil N°1 avec n=5	53
Figure IV.11 : Pseudo-section n=10.....	54
Figure IV.12 : Correction et Inversion de la section des résistivités avec n=10	54
Figure IV.13 : Situation du profil N°2	55
Figure IV.14 : Elimination des valeurs aberrantes sur le profil N°2 avec n=5	56
Figure IV.15 : Pseudo-section du profil N°2.....	56
Figure IV.16 : Inversion de la pseudo-section du profil N°2	58

INTRODUCTION GENERALE

La Géophysique, ou physique de la Terre a pour but d'étudier les propriétés physiques du globe terrestre. L'objectif principal de la géophysique est de déduire les propriétés physiques et la constitution de la Terre, à partir des phénomènes physiques qui leur sont associés, par exemple, le champ géomagnétique, le flux de chaleur, la propagation des ondes sismiques, la force de pesanteur, etc.

On distingue dans cette discipline les méthodes dites de potentiel qui reposent sur l'étude des champs de pesanteur, magnétique, électrique d'une part, des méthodes portant sur la propagation des ondes d'autre part (sismologie, sismique réflexion, sismique réfraction, radar).

La prospection électrique est l'une des méthodes de géophysiques qui repose essentiellement sur l'interprétation de la résistance électrique du terrain. C'est par la mesure d'une différence de potentiel d'une part et d'une intensité d'autre part que l'on accède à la valeur de la résistance.

La tomographie électrique 2D fait partie de la prospection électrique, car elle permet de déterminer la résistivité des matériaux du sous-sol. Cette résistivité va dépendre de la lithologie des matériaux mais aussi, de la perméabilité de la roche et de la conductivité de l'eau qu'elle contient.

Les pseudo-sections de résistivités issues de cette méthode s'obtiennent en combinant déplacement horizontal de quadripôles et variation de l'écartement des électrodes. Le résultat permet d'imager verticalement les variations de la résistivité apparente en fonction de l'écartement des électrodes le long d'un profil, ce que l'on nomme une pseudo-section. On peut, par inversion des données à l'aide de logiciels adaptés, remonter à de véritables sections de résistivité, permettant cette fois-ci d'imager les variations de celle-ci en 2D, suivant la profondeur et la distance horizontale le long du profil.

Le présent travail a consisté en l'application de la tomographie à la caractérisation de l'aquifère alluvionnaire de oued Biskra et les différents types de dépôts meubles, afin d'approcher un portrait hydrogéologique du réservoir souterrain.

La nappe alluviale de Oued Biskra, malgré ces extensions latérales et verticales très réduites, est le siège d'une très forte exploitation (plus de 300 l/s). Malheureusement, elle ne bénéficie pas des égards à la hauteur de son importance.

La première partie de ce mémoire a porté sur la familiarisation avec les méthodes de géophysique appliquées dans le domaine de l'hydrogéologie. Il s'agit des trois méthodes de prospection électrique : le sondage électrique vertical (SEV), les méthodes électromagnétiques et les méthodes sismiques.

Le deuxième chapitre est consacré à la description de l'appareil utilisé au cours de ce travail, qui est le résistivimètre SARIS (Scintrex Automated Resistivity Imaging System) développé et manufacturé par la compagnie Canadienne Scintrex et propriété du laboratoire de génie civil de l'université de Biskra. D'autres instruments de mesures utilisées dans le domaine de la géophysique électrique ont été présentés, ainsi que le logiciel d'inversion le plus couramment utilisé dans les milieux universitaires et privés, qui est le Res2Dinv.

Nous avons voulu, à travers le troisième chapitre, présenter la zone d'étude qui est la nappe alluviale de Oued Biskra. Un historique de l'exploitation de cette aquifère et un aperçu hydrogéologique ont été avancés.

Le quatrième chapitre traite de l'application de la tomographie électrique à travers deux profils de 275 m, recoupant transversalement l'oued. Après correction et inversion des données de résistivité, des interprétations des résultats ont été avancées.

Chapitre I

*Les méthodes géophysiques
appliquées en hydrogéologie*

I.1 INTRODUCTION

La géophysique comme outil de reconnaissance et de prospection, aide à déterminer les paramètres physiques en vue de détecter une ou plusieurs anomalies pouvant emmagasiner l'eau souterraine et de déterminer les caractéristiques géo électriques de ces couches ou de ces anomalies.

Les méthodes de prospection géophysiques de surface sont nombreuses (électriques, électromagnétiques, gravimétriques et sismiques, etc.), et sont largement utilisées pour donner des informations sur les propriétés du sous-sol, telles que la profondeur de la nappe phréatique, l'épaisseur des couches, la profondeur du substratum rocheux, l'emplacement des failles et les zones de fracture .Toutes ces méthodes se basent sur la mesure d'un paramètre physique (la résistivité, la vitesse de propagation des ondes acoustiques.....etc.).

Dans ce chapitre nous allons brièvement exposer les principes des méthodes géophysiques appliquées à l'hydrogéologie et présenter le principe et les techniques de mesures qui nous avons utilisés durant les prospections géophysiques.

I.2 LA CONDUCTIBILITE LIQUIDE ELECTROLYTIQUE

Dans la plupart des roches, la conductibilité est presque uniquement de type électrolytique. Cela signifie que ce sont les ions qui transportent des charges sous l'effet du champ électrique et que les roches conduisent le courant électrique grâce à l'eau qu'elles contiennent. La résistivité d'une roche va dépendre de :

- La qualité de l'électrolyte, c'est à dire de la résistivité de l'eau d'imbibition ρ_w et par conséquent de la quantité des sels dissous.
- de la quantité d'électrolyte contenu dans l'unité de volume de la roche.
- du mode de distribution de l'électrolyte.

I.2.1 La qualité de l'électrolyte

Quand un sel se dissout dans l'eau, il se dissocie en ions chargés positivement et ions chargés négativement. Lorsque l'on applique un champ électrique, les ions vont se déplacer. Ce

déplacement est gêné par la viscosité de l'eau et pour un ion donné atteint une vitesse limite appelée la mobilité des ions.

I.2.2 La salinité

La conductibilité d'un électrolyte dépend en fait de la teneur en ions et de la mobilité des différents ions en solution et du degré de dissociation.

La mobilité des ions est différente pour chaque ion, par exemple :

Ion	Vitesse (10^{-8} m/s)
H+	36,2
OH-	20,5
SO ₄ --	8,3
Na+	5,2
Cl-	7,9

Une eau avec la même concentration en poids de sels dissous aura une résistivité différente selon les ions en présence.

I.2.3 La température

La résistivité d'un électrolyte dépend aussi de la température. Une augmentation de température diminue la viscosité, la mobilité des ions devient plus grande, par ailleurs, la dissociation augmente, ce qui a pour effet de diminuer la résistivité ou inversement d'augmenter la conductibilité.

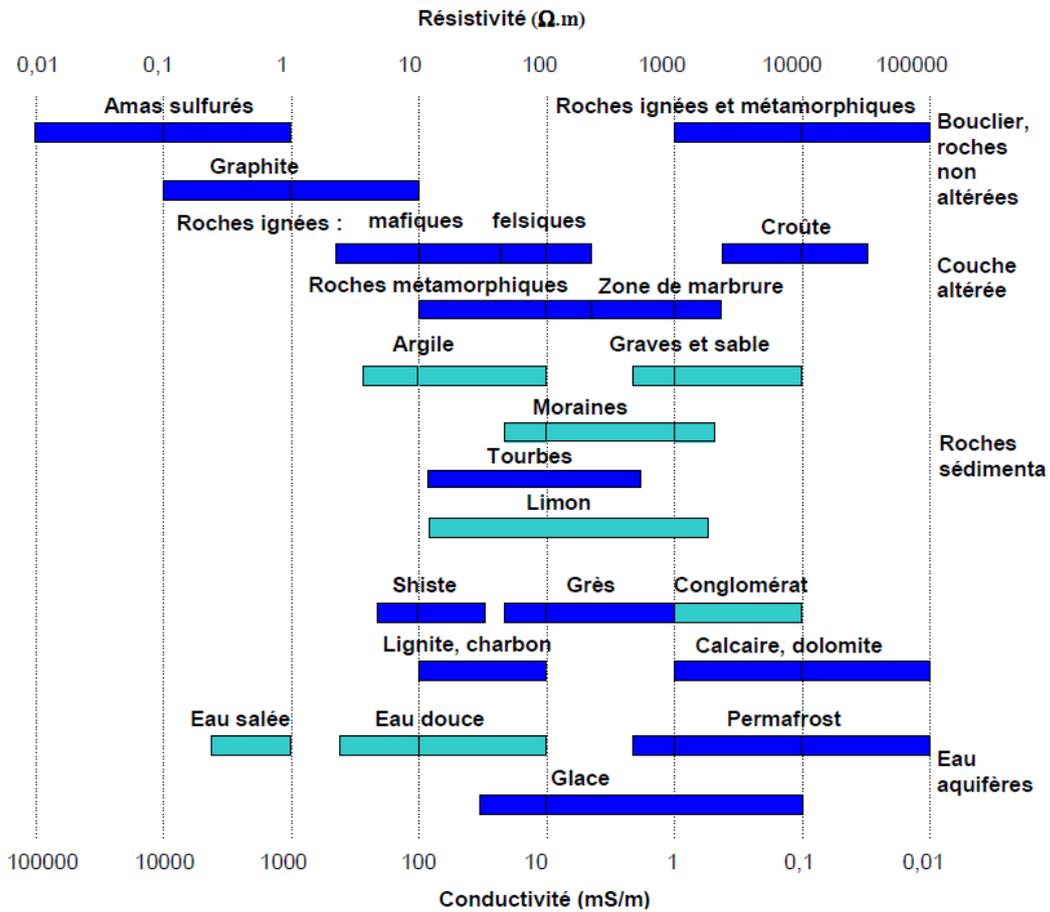


Figure 1 : Classification de différents sols, roches et liquides du point de vue de leur résistivité.

I.3 METHODES GEOPHYSIQUES ET PRINCIPE DE MESURE

Les méthodes géophysiques mesurent les variations spatiales et temporelles des propriétés physiques du sous-sol. Les principaux paramètres physiques mesurés sont la résistivité électrique, la densité, la vitesse de propagation des ondes élastiques et la susceptibilité magnétique. Chacun de ces paramètres détermine une méthode fondamentale de prospection géophysique : électrique, sismique et électromagnétique.

I.3.1 Les méthodes électriques

La prospection électrique est parmi les techniques d'explorations géophysiques les plus utilisées pour les prospections non-destructives du sol et sous-sol, qui repose essentiellement sur la mesure de la résistivité électrique d'un terrain.

La résistivité électrique ρ d'un milieu exprimée en Ohm.m, est la propriété physique qui détermine la capacité de ce milieu à s'opposer au passage d'un courant électrique.

Il existe trois méthodes de prospection électrique : le sondage électrique vertical (SEV), les méthodes électromagnétiques et les méthodes sismiques.

I.3.2 Le sondage électrique vertical (SEV)

Le sondage électrique vertical (SEV), est une méthode de prospection géophysique bien adaptée. Il permet de déterminer des variations verticales de résistivité. Ainsi, à travers une investigation en profondeur, le sondage électrique permet d'explorer les différentes couches de terrain afin d'avoir une idée des épaisseurs de ces dernières.

I.3.2.1 Principe de méthode

Le mesure de la résistivité électrique consiste à injectée un courant électrique dans le sous-sol, au moyen des piquets métalliques (électrodes d'injection A et B), de courant continu (**I**) et la mesure entre deux autres électrodes MN (électrodes de potentiel) d'une différence de potentiel (ΔV) liée à la distribution des résistivités dans le sous-sol, ceci nous permet de calculer la résistivité apparente (ρ_a) à l'aide de la formule suivant :

$$\rho_a = K (\Delta V/I).$$

K : un coefficient géométrique qui dépend de la position du quadripôle AMNB.

ΔV : qui est la différence de potentiel exprimée en volts (V).

I : l'intensité du courant injecté exprimé en ampère (A).

Notons que cette résistivité mesurée correspond à la résistivité apparente (ρ_a) .

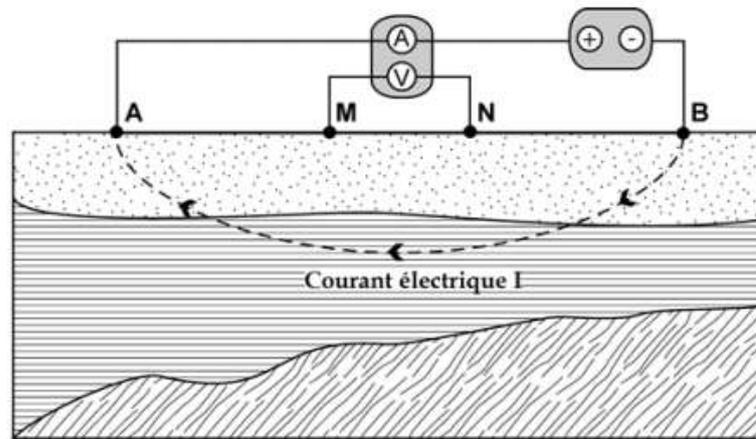


Figure I.2 : Principe de la prospection électrique par courant continu

Si le terrain est homogène électriquement, la résistivité obtenue est égale à la résistivité vraie du terrain.

Cependant les terrains sont rarement homogènes et les résistivités mesurées sont donc des résistivités apparentes (ρ_a), liées par des équations complexes aux résistivités vraies (ρ) et aux épaisseurs des couches (b).

La résistivité vraie d'une couche informe sur la composition matricielle de celle-ci mais surtout sur son contenu en eau. En effet, la conduction (inverse de la résistivité) dans les matériaux naturels est principalement de type électrolytique (Keller et al. 1970, Zohdy et al. 1974) sauf pour l'argile qui peut aussi conduire l'électricité de façon électronique (Zohdy et al. 1974). Les principaux facteurs qui influencent la conductivité électrique sont la quantité d'eau, la salinité de l'eau et la distribution (interconnexion) de l'eau.

1.3.2.2 Dispositifs de mesure

Plusieurs dispositifs sont disponibles pour déterminer la répartition des résistivités dans le sous-sol.

1.3.2.2.1 Dispositif de Schlumberger

Le dispositif de Schlumberger est l'un des plus couramment utilisé en hydrogéologie, il est illustré à l'aide d'un schéma de la figure I.2.

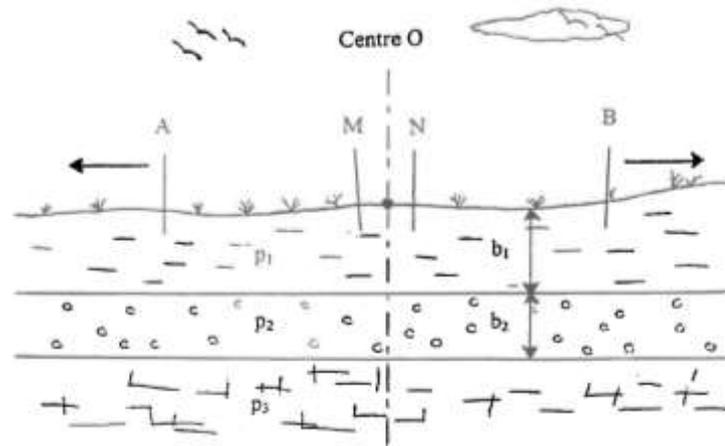


Figure I.3 : Dispositif de Schlumberger

Le courant est envoyé aux électrodes A et B placées aux limites extérieures du dispositif ; la différence de potentiel est mesurée entre les électrodes M et N placées de part et d'autre du centre du dispositif (O). La séparation AB doit être égale à environ 8 fois la séparation MN. Un ratio AB/MN compris entre 4 et 20 est généralement toléré. Au début du relevé les espacements AB et MN sont petits, à mesure que le relevé progresse les électrodes A et B sont éloignées symétriquement du centre O, sans déplacement des électrodes M et N. Il y a déplacement de ces dernières seulement lorsque le ratio AB/MN devient trop grand (c'est à dire supérieur à 20), il faut alors augmenter l'espacement MN en déplaçant symétriquement les électrodes de potentiel. Lorsque cette situation se produit, deux lectures ou plus sont prises pour les mêmes espacements AB, soit une pour chacun des espacements MN. L'écartement progressif des électrodes permet une investigation de plus en plus profonde dans le sol. Les lectures de l'appareil (placé en O) représentent le ratio dV/I . Ces lectures sont ensuite multipliées par le facteur K approprié et les résistivités apparentes ainsi obtenues sont placées sur un graphique log-log avec la séparation $AB/2$ en abscisse et les valeurs de résistivités apparentes en ordonnées. Ces graphiques sont appelés courbes électriques (figure I.3).

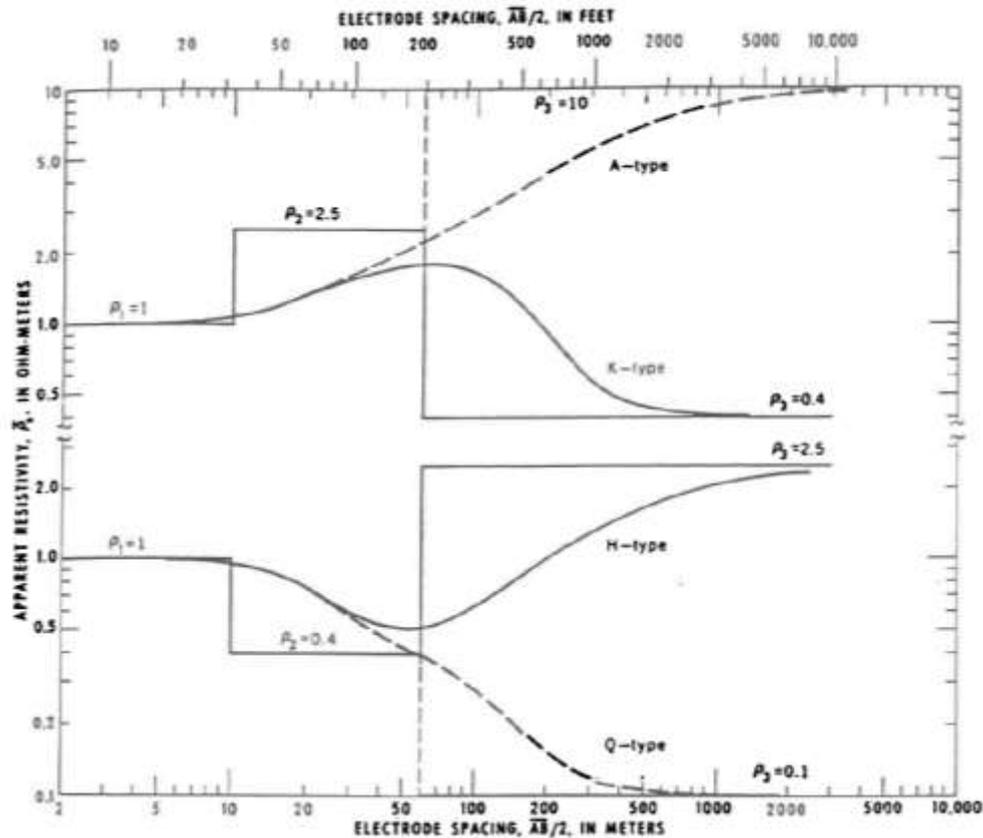


Figure I.4 : Types de courbes électriques à trois couches (Zohdy 1974)

Le choix du dispositif, de ses dimensions et de l'espacement des mesures dépend des objectifs de l'étude à réaliser.

I.3.3 La Trainé électrique

La technique du trainé électrique ou profilage électrique, permet de fournir des informations qualitatives sur les variations horizontales de résistivité du sous-sol avec un dispositif tel que les électrodes ont des intervalles constants sur des positions variables, la trainé électrique utilisée pour porter l'investigation sur une épaisseur plus ou moins constante de terrain.

La tomographie de résistivité électrique (TRE) vise à déterminer la distribution de la résistivité du sol selon un plan vertical 2D.

La mesure des résistivités électriques apparentes se fait à partir d'un dispositif multi-électrodes. Elle consiste à mettre en œuvre un câble multiconducteur reliant une série d'électrodes disposées à la surface du sol au résistivimètre par l'intermédiaire d'un sélecteur

d'électrodes qui est piloté par micro-ordinateur. Chacune des électrodes du dispositif peut être utilisée comme électrode d'injection de courant (AB) ou comme électrode de mesure (MN). Des niveaux d'acquisitions de plus en plus profonds sont obtenus en augmentant progressivement la distance interélectrode.

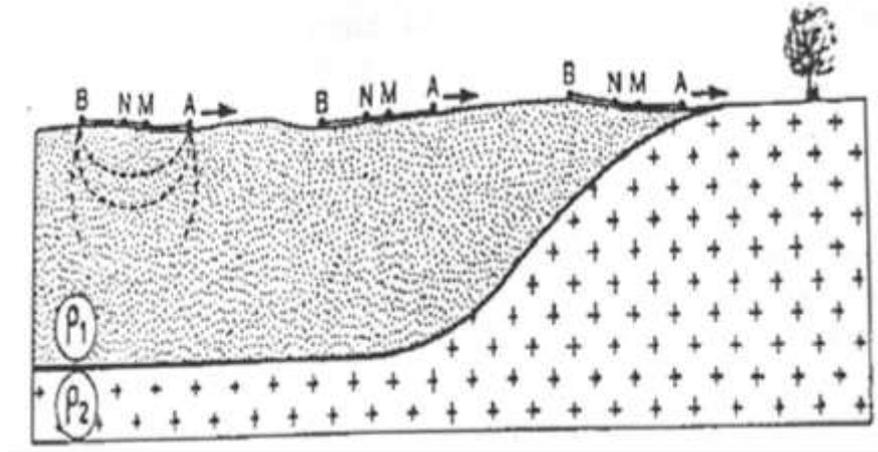


Figure 1.5 : La trainée de résistivité électrique

Ce très grand nombre de mesures indépendantes réalisées sur une superficie donnée permet une différenciation maximale des formations géologiques, latéralement et verticalement.

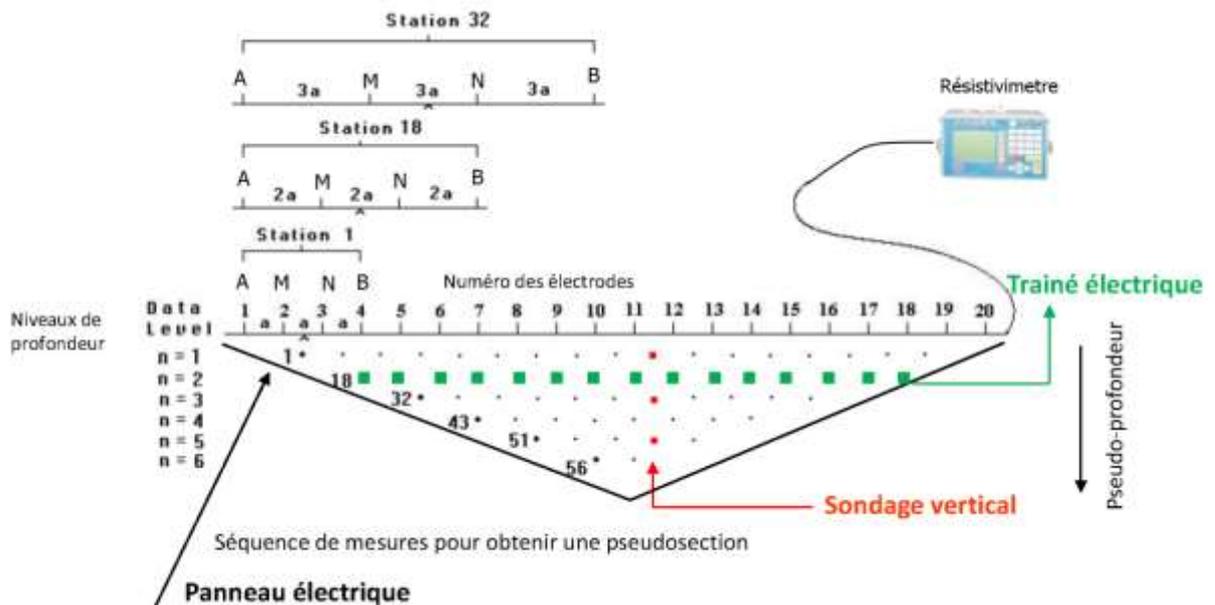


Figure 6 : Illustration du principe d'acquisition (Dispositif Wenner)

Pour obtenir une coupe **3D** les électrodes sont placées selon une grille régulière (carrée ou rectangle) avec un espacement interélectrode préalablement choisi en fonction de l'étude. De façon à étendre la surface étudiée une procédure de recouvrement est effectuée.

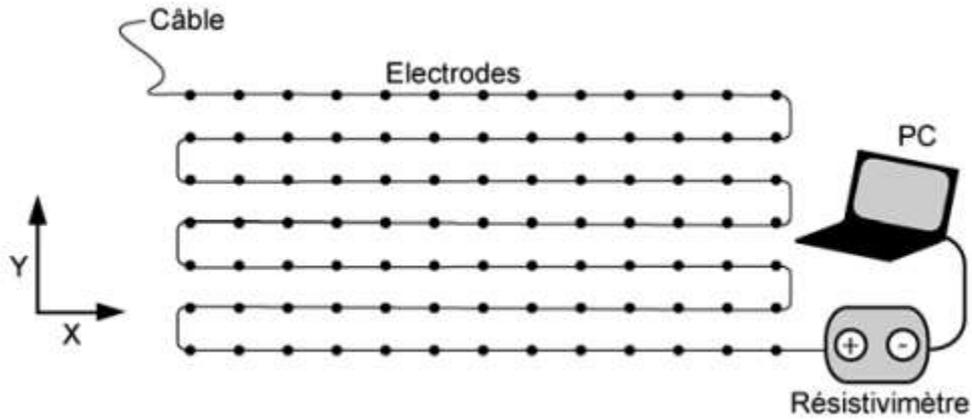


Figure 7 : Arrangement des électrodes pour une acquisition 3D

La figure ci-dessous illustre les configurations des dispositifs des électrodes les plus utilisées pour la prospection électrique ; le coefficient géométrique est également donné.

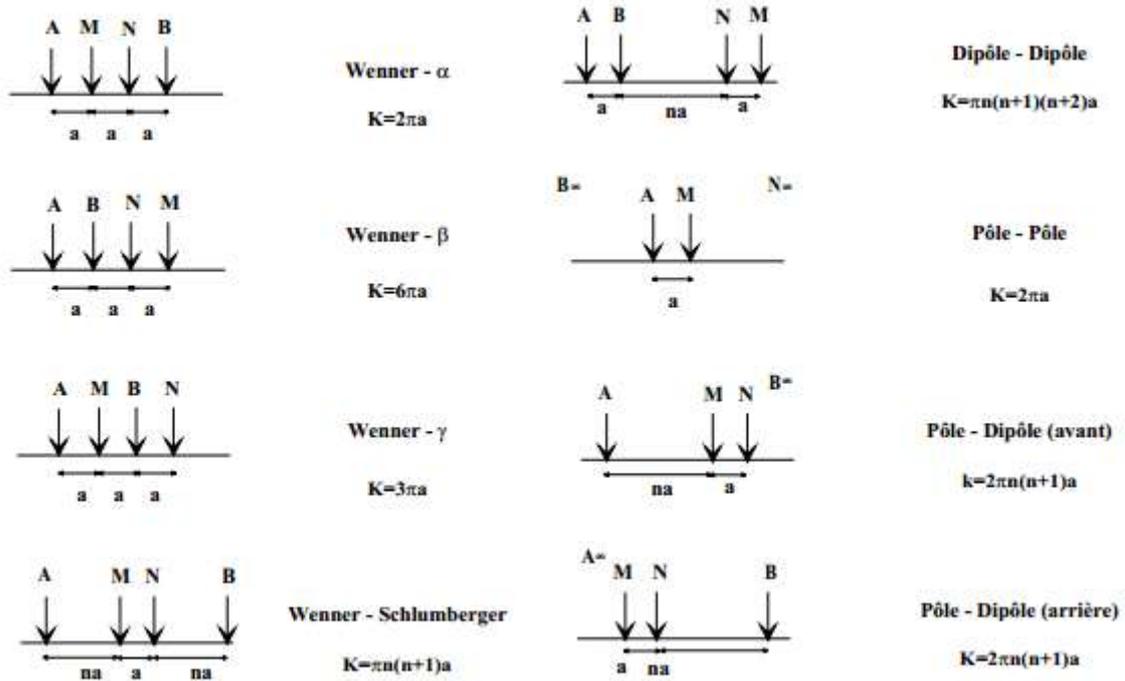


Figure I.8 : Différents configuration, ainsi que le coefficient géométrique K.

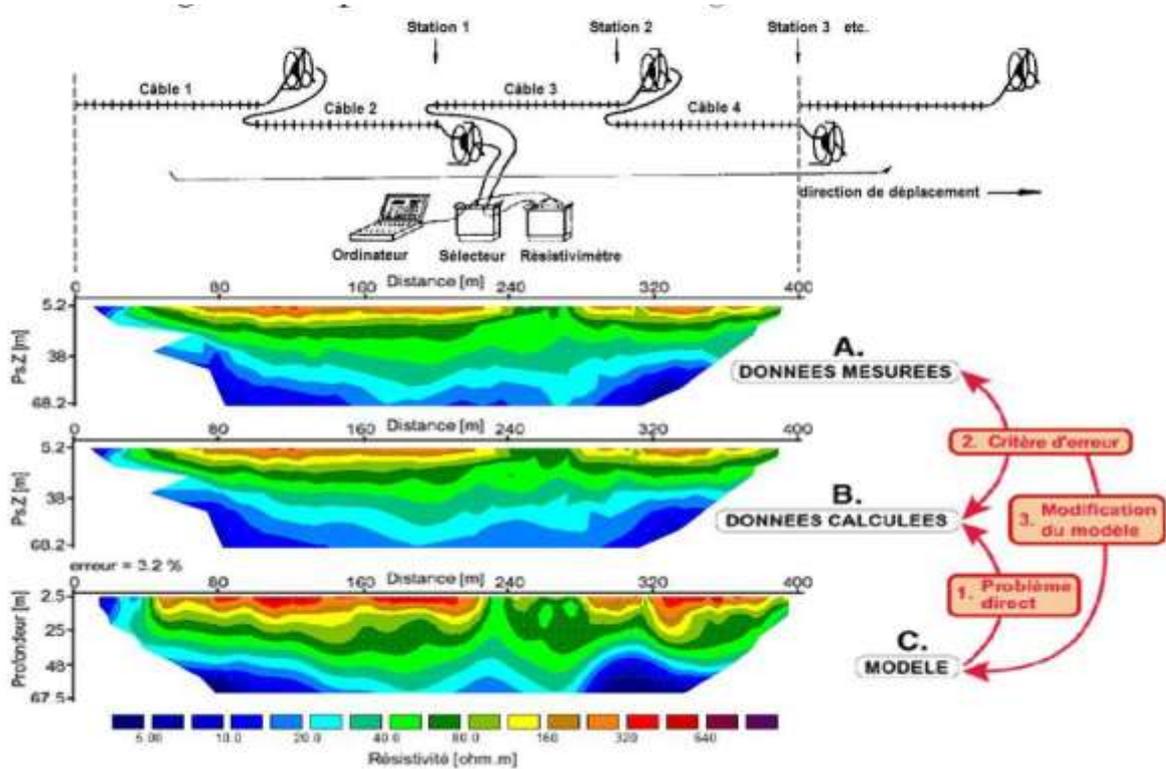


Figure I.9 : Etapes pour l'obtention du modèle d'une imagerie électrique

I.3.4 Méthodes électromagnétiques

Les méthodes électromagnétiques (EM) sont bien adaptées à la prospection des eaux souterraines. En particulier, elles peuvent être utilisées pour estimer les propriétés électriques des matériaux de subsurface.

Ces méthodes sont basées sur l'induction par une bobine d'un champ électromagnétique dans le sol. Une autre bobine joue le rôle de récepteur. Chaque bobine est placée à l'extrémité d'un bras porté horizontalement et sans aucun contact avec le sol.

On distingue deux types :

I.3.4.1 Méthodes électromagnétiques temporelles (TDEM-Time Domain Electro Magnetic ou TEM- Transient ElectroMagnetic)

Le principe général de ces méthodes consiste à engendrer des courants électriques dans le sous-sol, généralement par induction à partir d'une bobine émettant un champ magnétique variable, et à enregistrer le champ magnétique secondaire créé par ces courants soit par une

autre bobine positionnée à l'intérieur ou à l'extérieur de la première soit par la même bobine. Le courant qui circule dans l'émetteur est brusquement interrompu. Cette brusque variation du champ magnétique primaire crée une force électromotrice qui fait circuler les courants dans les formations géologiques : ce sont les courants de Foucault ou courants induits ou courant secondaires. L'intensité de ces courants décroît avec le temps au cours duquel le champ secondaire est mesuré, après la coupure du champ primaire.



1.3.4.2 Méthodes « AMT - Audio-Magnéto-Tellurique » et « CSAMT AudioMagnéto-Tellurique à source contrôlée »

Ce sont des méthodes fréquentielles à grand nombre d'induction, puisque l'émetteur naturel est considéré comme situé à l'infini pour l'AMT et que la source contrôlée est elle aussi à très grande distance du récepteur pour la CSAMT. Les fréquences dites « audio » sont comprises entre 1 Hz et 10 000 Hz, ce qui conduit à des profondeurs d'investigation importantes, qui peuvent atteindre 1 000 m ou plus. Lorsque l'ensemble du spectre est couvert, soit 4 décades et lorsque les stations réceptrices sont adjacentes le long d'un profil, on réalise une tomographie électromagnétique. Si les stations réceptrices sont éloignées, on réalise des sondages magnétotelluriques individuels.

1.3.5 Les méthodes sismiques

La sismique étudie les variations de la vitesse sismique du sous-sol (la propagation des ondes élastiques), ces variations qui sont en relation avec la dureté, le degré de consolidation et la

saturation. L'ébranlement du sol est provoqué soit à l'aide d'explosifs à la surface du sol ou descendus dans un forage, soit par des moyens mécaniques (le choc d'un piston, un vibreur, la chute d'un marteau sur une plaque métallique).

Avec cette méthode on peut distinguer la roche compacte du terrain meuble, la roche compacte et la roche altérée, les zones fracturées dans une roche saine, le niveau de la nappe phréatique.

En effet, le paramètre qui nous intéresse est la vitesse de propagation de ces ondes dans le sous-sol. Ces ondes ont été générées par une source sur ou dans le sol. Chaque roche peut être caractérisée par la mesure de la vitesse sismique qui lui est propre. Cette propagation des ondes élastique dépend des propriétés élastiques des roches composant le sous-sol.

La vitesse de propagation est essentiellement proportionnelle à la rigidité des formations et est croissante avec la profondeur car la rigidité croît beaucoup plus vite que la densité.

Il existe deux méthodes de prospection sismique la sismique réfraction, qui s'intéresse principalement aux ondes ayant subi le phénomène de la réfraction totale et la sismique réflexion. La sismique réflexion est de loin, la plus utilisée dans la recherche pétrolière. Mais actuellement, en hydrogéologie, on ne fait presque jamais appel à elle et on lui préfère la sismique réfraction.

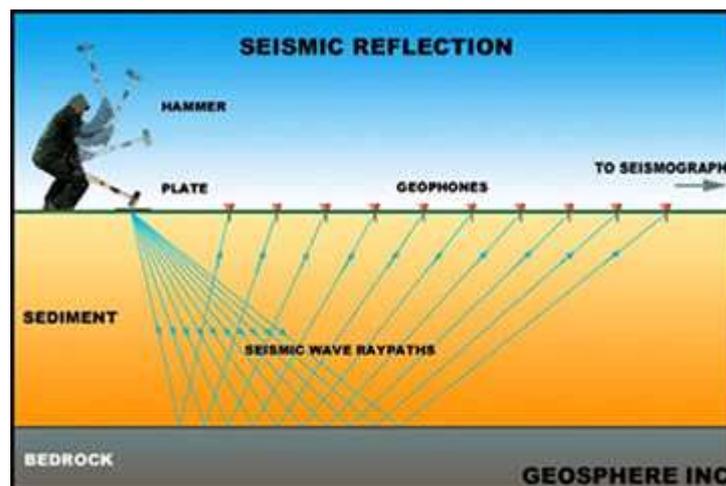


Figure I.10 : Méthode sismique réflexion

1.3.5.1 Principe de mesure (sondage de sismique marteau)

Les opérations sur le terrain comportent :

- la réalisation d'un dispositif sismique comprenant un point d'ébranlement,
- un récepteur ou géophone ;
- la transmission ou l'enregistrement de l'instant de l'ébranlement des arrivées des ondes au récepteur à l'aide d'un sismographe à incrémentation de signal ;

En sismique réfraction, la longueur du dispositif placé en surface est généralement comprise entre trois et dix fois la profondeur à atteindre.

1.3.5.2 La porosité et la saturation

D'une façon générale, les vitesses sismiques décroissent lorsque les porosités croissent. Par ailleurs, pour une même porosité, les terrains propagent les ondes sismiques plus rapidement quand ils sont saturés que quand ils ne le sont pas. Par exemple, pour une porosité de 60% environ, la vitesse de propagation est proche de 330 m/s (vitesse de l'air) lorsque la roche est sèche, et de 1500 m/s (vitesse dans l'eau) si la roche est saturée.

1.3.5.3 Gamme de vitesses

On peut distinguer 6 grands groupes de roches sur les vitesses P :

1. **Roche compactes**, porosités inférieures à 3%, pas de fracturation, pas d'altération. Granites, Gneiss, Dolomites et calcaires massifs, Marbres, Quartzites, Basaltes. Vitesses de 4000 à 6000 m/s.
2. **Les mêmes roches mais fracturées**, porosité totale de 3 à 10%, peu ou pas d'altération. Vitesses de 3000 à 4000 m/s.
3. **Roches poreuses**, porosité supérieure à 5% pas de fracturation, pas d'altération. Calcaires, Craies, Grès,... Vitesses 2500 à 4000 m/s.
4. **Les mêmes roches mais fracturées**, porosités supérieures à 8%, peu ou pas d'altération. Vitesses 2000 à 3500 m/.
5. **Roches altérées**, vitesses très variables selon le degré d'altération. Vitesses toujours inférieures aux vitesses dans les roches saines.
6. **Formations meubles**, soit non consolidées, soit déconsolidées par une profonde altération (surtout pour les roches à feldspaths abondants) Graviers, sables, silts, tuf, Moraines Altérites. Vitesses 300 à 2500 m/s.

I.4 CONCLUSION

Les paramètres utilisés pour caractériser les propriétés physiques d'un milieu sont nombreux : résistivité/conductivité électrique, permittivité diélectrique, perméabilité magnétique, densité, vitesse des ondes sismiques entre autres. Les méthodes dites géoélectriques font appel aux deux premiers paramètres, c'est-à-dire (i) la résistivité/conductivité électrique qui fait appel au phénomène de conduction, et à la circulation des charges libres sous l'effet d'un champ électrique, et (ii) la permittivité diélectrique qui fait appel au déplacement ou à la réorientation de charges liées sous l'effet d'un champ électrique qui varie dans le temps.

Les méthodes géophysiques peuvent être utilisées dans le cadre de reconnaissances hydrogéologiques, mais aussi géologiques (pour identifier des formations cachées par des sédiments en surface par exemple), tectonique (pour imager des failles ou chevauchements) et plus généralement en génie civil, pour toute reconnaissance du sous-sol avant la construction d'un bâtiment ou d'un pont. A plus petite échelle, l'imagerie électrique peut être utilisée pour ausculter les premières couches du sol en archéologie ou pédologie (on utilise dans ce cas une distance de quelques centimètres entre les électrodes).

Chapitre II

Appareillage de géophysique électrique

II.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons présenter quelques instruments de mesure utilisées dans le domaine de la géophysique électrique, ainsi que l'appareil utilisé au cours de ce travail qui est le résistivimètre SARIS (*Scintrex Automated Resistivity Imaging System*) développé et manufacturé par la compagnie Canadienne Scintrex et propriété du laboratoire de génie civil de l'université de Biskra.

Le résistivimètre a pour but de générer le courant, mesurer la tension entre les électrodes de potentiel et afficher la valeur de résistivité apparente.

II.2 OHMEGA RESISTIVIMETRE

Le système Ohmega est un résistivimètre qui permet de mesurer la résistivité électrique du sous-sol avec une très grande précision, couvrant de nombreuses applications. Classiquement il est admis qu'il est nécessaire d'avoir une forte puissance afin de réaliser de bonnes auscultations géo-électriques.



Figure II.1 : Ohmega-Résistivimètre

Toutefois, avec son excellente résolution, l'Ohmega peut travailler dans des environnements difficiles jusqu'à des profondeurs de plusieurs centaines de mètres en fournissant des mesures électriques très précises. Un choix de courant d'injection allant de 0,5 à 200 mA, avec des gains automatiques, permet des mesures entre 0,001 ohm et 400 kohm. Trois cycles

d'injection différents sont disponibles avec jusqu'à 16 cycles par mesure. Les valeurs de polarisation spontanée peuvent être éliminées.

II.3 RÉSISTIVIMÈTRE SYSCAL PRO (IRIS INSTRUMENT)

Le résistivimètre SYSCAL PRO D'IRIS se compose d'une flûte (câble de connexion comportant 24, 48 ou 72 électrodes, espacées de 5m les unes des autres), d'un résistivimètre à mémoire et d'une unité électronique régulant la distribution du courant entre les électrodes.

Après avoir planté les électrodes dans le sol, l'appareil enregistre la résistivité du terrain entre les différentes électrodes.

A l'issue de la mesure, les données sont transférées sur un micro-ordinateur qui reconstitue, via un programme, une coupe du sous-sol en 2 ou 3D.

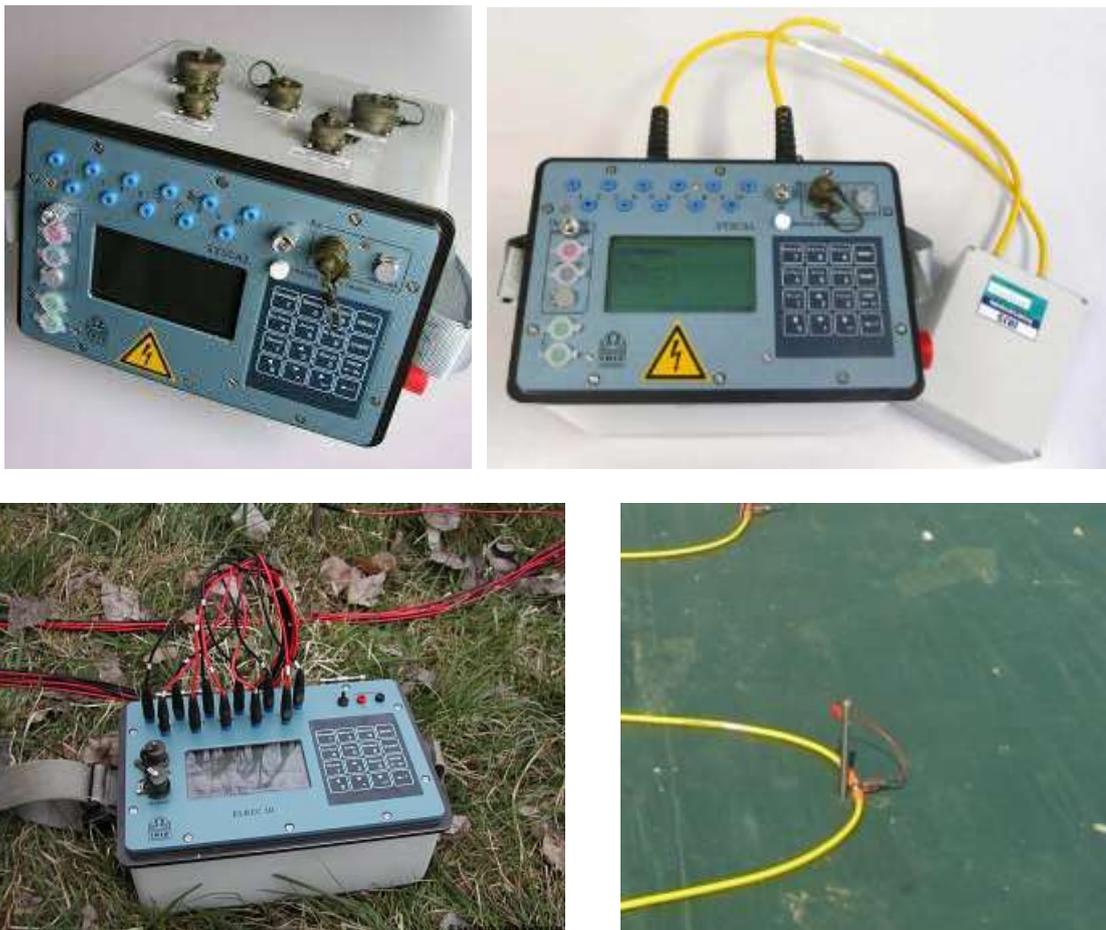


Figure II.2 : Résistivimètre SYSCAL PRO

II.4 RESISTIVIMETRE ABEM TERRAMETER SAS1000

Le TERRAMETER SAS1000 est un résistivimètre destiné aux études par sondages électriques verticaux. Il est conçu également pour faire des mesures par polarisation induite (IP) et potentiel spontané (SP). Le TERRAMETER SAS1000 dispose d'un boîtier en aluminium, très résistant et étanche. Il est compact et léger.

L'émetteur et le récepteur sont intégrés dans un seul boîtier. Il est alimenté par une batterie externe 12 V, ou une batterie clippée rechargeable. Il est idéal pour les campagnes de sondages verticaux.



Figure II.3 : Résistivimètre TERRAMETER SAS1000

II.5 RESISTIVIMETRE 4POINT LIGHT 10W

Le 4point light 10W est le résistivimètre idéal pour toutes vos mesures de résistivités, de polarisation induite et de polarisation spontanée. Il mesure le déphasage entre le courant injecté dans le sol et la tension mesurée aux électrodes de potentiels. Cet équipement permet de réaliser des sondages électriques avec un AB/2 jusqu'à de 1000 m.



Figure II.4 : Résistivimètre 4POINT LIGHT 10W

II.6 GEOSSEKER (NOUVEAU DETECTEUR D'EAU ET CAVITE)

Le GeoSeeker est un détecteur géoélectrique professionnel pour la détection d'eau et de cavités. L'équipement effectue les mesures de résistance et visualise les données dans une image 3D. Ce détecteur géoélectrique est très mobil, facile à utiliser et a été développé et fabriqué en Allemagne.

Le GeoSeeker utilise une procédure de mesure géoélectrique sur la base de Schlumberger pour lire la résistivité du sol. Sur la base de la résistance du sol, le détecteur est capable de localiser des dépôts d'eau souterrains, du gravier aquifère et la surface de la nappe phréatique ainsi que des cavités comme de grottes, tunnels, chambres etc. Par conséquent, le détecteur géophysique peut être utilisée comme détecteur d'eau ou détecteur de cavité en même temps.

Les composants matériels de GeoSeeker sont complètement contrôlés par un Tablette PC Android moderne. Toutes les commandes et les résultats de mesure sont transférés sans fil via Wi-Fi. En utilisant le logiciel préinstallé, il suffit de choisir un des trois modes de mesure pris en charge :

1.6.1 Scan Actif (précis)

En utilisant ce mode de mesure le GeoSeeker utilise deux électrodes pour injecter l'énergie électrique dans le sous-sol. Deux électrodes supplémentaires mesurent la différence de potentielle (chute de tension) aux points de mesure afin de calculer la valeur de la résistivité. Ce mode est utilisé pour détecter des dépôts d'eau souterrains, des grottes cachées ou même des couches imperméables et des obstacles dans le sous-sol. Dans un Scan Actif on peut définir une gamme de profondeur spécifique dans laquelle on veut effectuer les mesures. Ce

qui revient à définir une profondeur de départ et une profondeur finale entre 5 mètres et 250 mètres.

1.6.2 Scan Actif (rapide)

Ce mode de scan est une version rapide de Scan Actif. Dans ce mode le détecteur injecte également l'énergie électrique dans le sous-sol et mesure la différence potentielle (chute de tension) pour calculer la résistance du sol.

1.6.3 Scan Passif

En utilisant ce mode de mesure le GeoSeeker utilise deux électrodes pour lire la tension naturelle dans le sous-sol (on n'injecte pas d'énergie électrique dans le sol). Ce mode est utilisé pour détecter de l'eau courante sous terre.



Figure II.5 : GEOSSEKER



Figure II.6 : Electrode de mesure et sa bobine de raccordement

II.7 SARIS

Le système complet est équipé de câbles multi-électrodes et d'électrodes inoxydables de longueur 40 cm et de diamètre 15 mm. L'instrument est un résistivimètre complètement automatique de puissance élevée pour courant continu. Il est destiné pour :

- l'exploration des eaux souterraines à faible, moyenne et grande profondeur,
- la cartographie géologique,
- les études environnementales,
- la géotechnique,
- la recherche archéologique
- et pour les études géologiques structurales.



Figure II.7 : système SARIS Scintrex

Pour la prospection minière, le paramètre étudié est la polarisation provoquée (Chargeable) qui complète l'information donnée par la prospection électrique par courant continu (Résistivité).

Ce résistivimètre peut calculer la résistivité apparente de plusieurs dispositifs de mesures utilisés en tomographie électrique par exemple : Schlumberger, Werner, Pôle dipôle, Dipôle-dipôle, Pôle-pôle axial, Pôle-pôle latéral et Gradient. Ainsi que le sondage électrique vertical (SEV) : Werner-Schlumberger, Werner, Werner Offset et Dipôle-dipôle.

L'instrument a une puissance de sortie maximale de 100W, le courant de sortie maximal est 1A. Les caractéristiques principales du résistivimètre SARIS sont :

- Émetteur et récepteur combiné de résistivité,
- Mesure de Rho et IP,
- Affichage graphique LCD 320 * 240 QVGA,
- Plus de 10.000 lectures,
- 100 heures de fonctionnement en veille,
- Interfaces de communication: USB et RS-232,
- GPS et inversion 1D in situ,
- Mémoire interne,
- Léger et efficace,
- Réglage automatique du courant pour minimiser la consommation d'énergie.

L'instrument est contrôlé par un micro-processeur pour ;

- Auto compensation de potentiel $\pm 1V$,
- Résolution de chargeabilité pour la polarisation provoquée de 0.1 mV/V,
- Gain automatique pour la mesure du courant et de la tension (voltage),
- L'écart-type (Déviation standard) est affiché pour donner une indication du niveau de bruit.

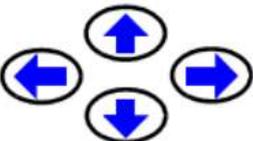
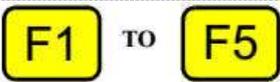
	<p>La touche de marche On</p>
	<p>La touche arrêt Off</p>
	<p>La touche Enter sert à acquitter une séquence de frappes.</p>
	<p>La touche CANCEL est utilisée pour effacer les données ou pour déplacer le curseur d'un espace en arrière.</p>
	<p>Les touches flèches déplacent le curseur soit, à droite, à gauche, vers le haut ou vers le bas.</p>
	<p>Arrêt d'urgence : Arrêtera immédiatement l'injection du courant.</p>
	<p>Les touches de fonction F1 à F5 accèdent aux options sous-menu. Ces options varieront selon le présent menu. Par exemple, dans l'écran la touche F1 vous permet d'accéder aux paramètres sous menu.</p>
	<p>Appuyez sur la touche Sounding/Profile pour faire un SEV ou un profil.</p>
	<p>Démarrage de lecture de résistivité une fois le profil a été bien configuré.</p>

Figure II.8 : Description du clavier de Résistivimètre SARIS

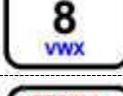
	En tapant le chiffre 1 , les lettres a , b et c , ainsi que l'accès à l'écran de configuration.
	En tapant le chiffre 2 , les lettres d , e et f , ainsi que l'accès à l'écran de levé.
	En tapant le chiffre 3 , les lettres g , h et i , ainsi que l'accès à l'écran de mémoire.
	En tapant le chiffre 4 , les lettres j , k et l , ainsi que l'accès à l'écran de réglage pour ajuster la luminosité.
	En tapant le chiffre 5 , les lettres m , n et o , ainsi que l'accès à l'écran d'aide
	En tapant le chiffre 6 , les lettres p , q et r , ainsi que l'accès à l'écran d'aide.
	En tapant le chiffre 7 , les lettres t et u , ainsi que l'accès à l'écran d'information
	En tapant le chiffre 8 , les lettres v , w et x , ainsi que l'accès à l'écran de note
	En tapant le chiffre 9 , les lettres y et z , ainsi que l'accès à l'écran du rappel de données

Figure II.9 : Fonction/Touches alphanumériques

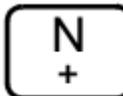
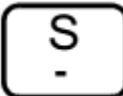
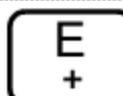
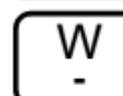
	En tapant dans la direction Nord (North), l'augmentation du contraste et en entrant un signe positif (+).
	En tapant dans la direction Sud (South), le décroissant du contraste et en entrant un signe négatif (-).
	En tapant dans la direction Est (East), l'augmentation du contraste et en entrant un signe positif (+)
	En tapant dans la direction Ouest (West), le décroissant du contraste et en entrant un signe négatif (-).

Figure II.10 : Direction/Signe

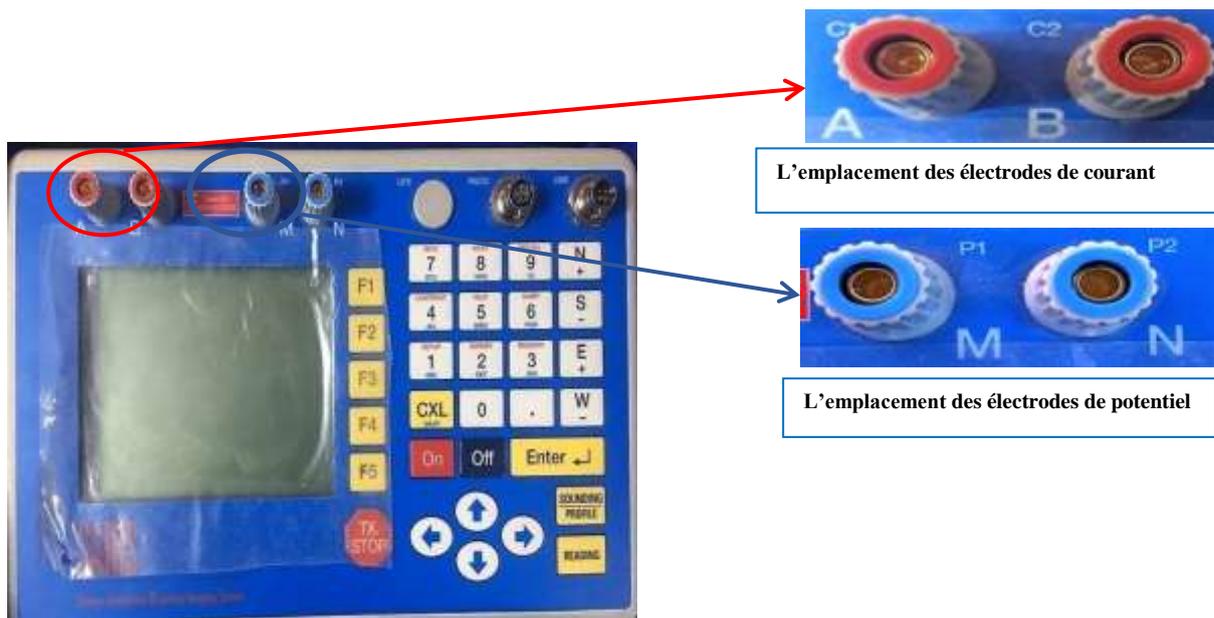


Figure II.11 : Emplacement des électrodes

II.8 LOGICIEL D'INVERSION 2D : RES2DINV

1.8.1 Introduction

Le logiciel présenté ici, Res2Dinv, est actuellement l'outil d'inversion le plus couramment utilisé dans les milieux universitaires et privés. Le descriptif qui suit permet d'effectuer un premier contact avec ce type de traitement mais n'a pas l'intention de couvrir de manière exhaustive toutes les possibilités de ce logiciel. Il faut d'ailleurs bien préciser que seule une bonne expérience permettra l'utilisation optimale des nombreux paramètres disponibles dans Res2Dinv. Ce logiciel est disponible gratuitement sur Internet en version de démonstration (www.geoelectrical.com). En version démonstration certaines options ainsi que l'enregistrement du résultat ne sont pas disponibles. Ce logiciel est protégé contre la copie par une clef physique (Dongle) qui permet l'accès à toutes les options.

1.8.2 Importation des données

Une fois les données prétraitées dans un fichier (*.dat), nous devons lancer le programme Res2Dinv et importer le fichier. Il faut cliquer sur **File** puis sur **Read data file** et choisir le

fichier à ouvrir. Une boîte de dialogue demande alors si on désire trier les données, ce tri ne représente qu'une réorganisation des données par Res2Dinv.

Il arrive parfois que la boîte de dialogue apparaisse et signale que la résistivité apparente mesurée de certains points est fortement anormale. Ces mesures anormales seront donc à supprimer. La visualisation et la suppression de ces mesures sont traitées au point suivant.

1.8.3 Quelques paramètres pouvant être modifiés

Les points sont représentés selon les différents niveaux d'acquisition et avec une échelle restreinte (Figure II.12). Cette représentation va faire ressortir les mesures dont la résistivité apparente est très forte ou très faible par rapport aux points voisins. Un tel changement aussi rapide ne pouvant être dû à un phénomène géologique, de telles données doivent être éliminées. Voici la marche à suivre :

Cliquez sur **Edit** puis sur **Exterminate bad data points**

Pour accéder à ce mode de visualisation, il faut cliquer sur chacune des mesures que nous désirons supprimer (la croix change alors de couleur et devient rouge), une fois que la sélection des mesures à supprimer fait, il suffit de cliquer sur **Exit**, et acceptez les modifications effectuées, puis cliquer sur **Quit edit window**.

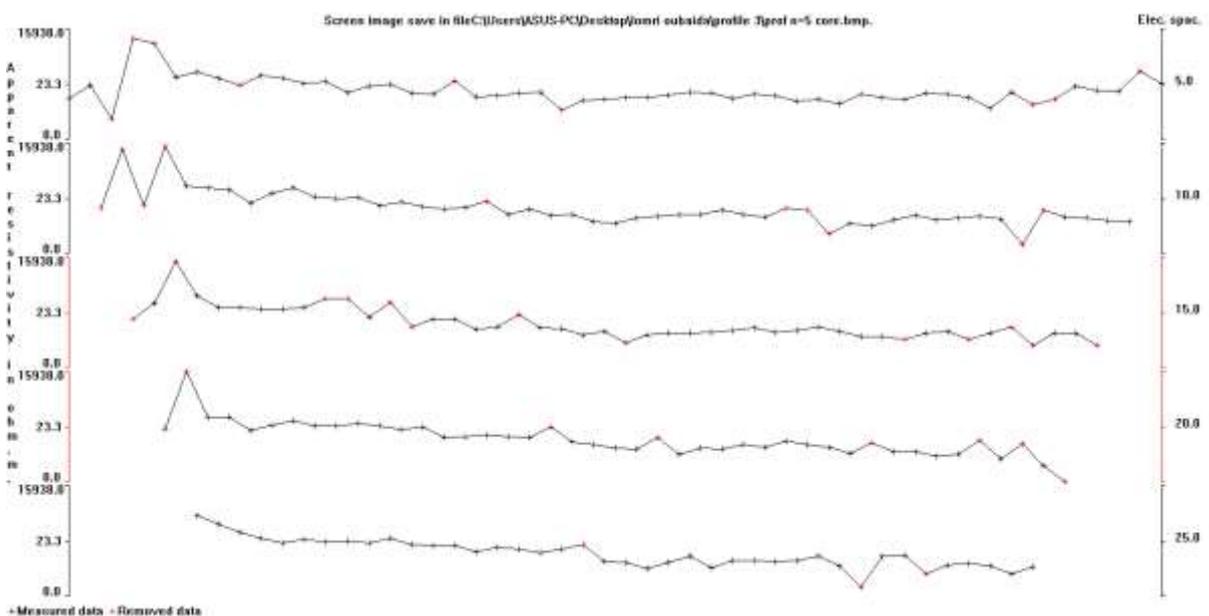


Figure II.12 : Elimination des valeurs aberrantes

Nous pouvons ou non renommer le fichier modifié. Il est important d'effectuer cette opération plusieurs fois, ceci pour voir si la suppression de certaines valeurs n'en a pas fait apparaître d'autres qui sont, elles aussi, aberrantes mais qui n'étaient simplement pas visibles auparavant (ajustage des échelles)

1.8.4 L'inversion

Comme nous l'avons dit précédemment, le logiciel Res2Dinv va permettre, à partir des valeurs de résistivités apparentes mesurées sur le terrain, de trouver les résistivités calculées (\approx vraies) du terrain d'étude. Le logiciel procède par une méthode itérative. En premier lieu il découpe le profil en plusieurs blocs dont la taille augmente avec la profondeur. Cette augmentation est due à la perte de résolution des méthodes électriques avec la profondeur et dépend du nombre de points de mesure et de niveaux d'acquisition. Pour cette opération d'inversion, les premières valeurs introduites dans les blocs du modèle, sont les valeurs de la résistivité apparente A.

1.8.5 Visualisation du résultat de l'inversion

Une fois l'inversion terminée, on peut revoir le résultat de cette inversion par le biais du menu **Display**. Si on désire visualiser le résultat inversé d'une autre acquisition, il suffit de charger simplement le fichier (*.inv) correspondant à l'aide la commande **Read file with inversion results** du menu **File**. Pour cela nous devons procéder de la manière suivante :

1. Cliquer sur le menu **Display** puis sur **Show inversion results**. Toute une série d'informations sur le fichier qui vient d'être inversé s'affichent alors.
2. Aller sur **Display sections**
3. A partir de ce moment, nous pouvons soit : revoir les trois pseudo-coupes qui représentent le résultat de l'inversion (cliquez sur **Display data and model sections**) ou visualisez le résultat de l'inversion avec la topographie (cliquez sur **Include topography in model display**)
4. Choisir le type de représentation (une échelle logarithmique donne déjà une bonne idée de l'inversion).

5. Il est ensuite possible d'enregistrer cette image en format bitmap : allez sur le menu **Print**, puis sur **Save screen as BMP file**.

II.9 PROTOCOLE DE MESURE

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 résistivimètre ABEM, lui-même relié à la centrale d'acquisition qui enregistre les résistivités apparentes mesurées.

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

II.10 INTERPRETATION DES PSEUDO-SECTIONS ET MODELES DE RESISTIVITE

1.10.1 Définition d'une pseudo-section

La première étape dans l'interprétation des données en tomographie électrique consiste à construire une pseudo-section. Une pseudo-section est une carte de résultats qui présente les valeurs des résistivités apparentes calculées à partir de la différence de potentiel mesurée aux bornes de deux électrodes de mesure ainsi que de la valeur du courant injectée entre les deux électrodes d'injection. La couleur d'un point sur la pseudo-section représente donc la valeur de la résistivité apparente en ce point.

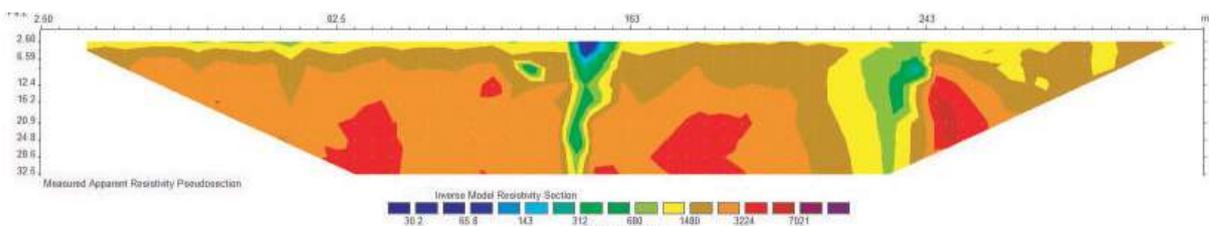


Figure II.13 : Carte de pseudo-section

1.10.2 Le modèle d'inversion

Toutes les méthodes d'inversion tentent essentiellement de déterminer un modèle de subsurface qui se rapproche au mieux des mesures. Un modèle est une représentation mathématique idéalisée d'une portion de la Terre. Il existe une application mathématique : la méthode des éléments finis ou des différences finies qui permet de passer de l'espace des mesures : la résistivité apparente à l'espace des paramètres physiques du modèle à estimer : la valeur de la résistivité en chaque point de la section.

Le programme d'inversion peut être utilisé pour différentes configurations d'électrodes (Wenner, Schlumberger, Dipôle-Dipôle). Chaque type de configuration a ses avantages et inconvénients. Il faudra donc choisir, à l'aide du logiciel d'inversion, la meilleure configuration en fonction des structures géologiques que l'on cherche à mettre en évidence.

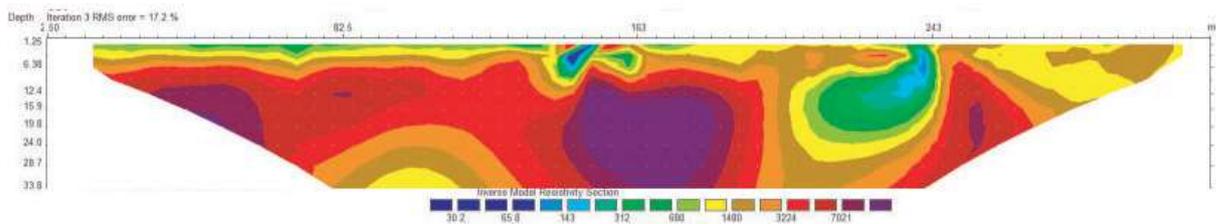


Figure II.14 : Modèle d'inversion

1.10.3 Pseudo-section calculée

On fait des mesures de résistivités apparentes, l'inversion des données nous donne une carte de résistivité (le modèle) et si on calcule à partir de ce modèle les résistivités apparentes, on obtient une pseudo-section calculée.

Le logiciel compare ensuite la pseudo-section mesurée et modélisée et fournit un pourcentage d'erreur entre les deux. Il faut choisir le modèle de résistivité de façon à minimiser l'écart entre la pseudo-section mesurée et calculée.

II.11 CONCLUSION

La mesure électrique de résistivités est basée sur l'utilisation de dispositifs élémentaires constitués de quatre électrodes : deux électrodes à partir desquelles le courant est injecté et deux électrodes entre lesquelles on mesure la différence de potentielle.

Selon la géométrie des électrodes, ces dispositifs prennent plusieurs noms : Wenner α , β , pôle-pôle, pôle-dipôle etc. Dans tous les cas de dispositifs, le calcul de la résistivité (qui est l'inverse de la conductivité) se fait de la même manière.

Dans leur fonctionnement, les dispositifs de mesure reprennent en automatique les opérations d'injections de courant et de mesures de potentiels, et effectue les calculs de résistivités. Ce processus est valable aussi bien pour les dispositifs simples (quatre électrodes) que pour ceux nettement plus élaborés (panneaux électriques). Pour cela il est doté d'une mémoire interne permettant l'installation de protocoles de mesures et le stockage des données. Il peut également tester automatiquement les résistances aux électrodes et acquérir en autonome les mesures de tous les dispositifs de mesures électriques aussi bien en mode temporel que fréquentiel.

Nous avons exposé dans ce chapitre un certain nombre d'appareil dédié à la géophysique électrique. Il existe sur le marché un grand choix d'appareils géophysiques et logiciels d'interprétation pour couvrir l'ensemble des méthodes de géophysique appliquée. (Electromagnétisme, Magnétométrie, Sismique, Résistivité, Panneaux électriques, Géoradars...).

Chapitre III

La nappe alluviale de Oued Biskra

III.1 INTRODUCTION

Une nappe alluviale est un aquifère constitué par les alluvions d'une rivière ou d'un oued. L'eau de la nappe est en équilibre avec celle de l'oued et les échanges se font dans les deux sens. Les alluvions sont très perméables; elles peuvent être très épaisses et constituer un réservoir très important qui sert à l'alimentation en eau des villes situées le long de l'oued.

En pays aride, la nappe alluviale est alimentée par les crues de l'oued qui est à sec en période d'étiage. Comme l'oued, les eaux de la nappe s'écoulent, souvent vers les dépressions endoréiques où elles s'évaporent (lacs temporaires avec dépôt de sels ou sebkha continentale).

Les nappes phréatiques alluviales sont traditionnellement exploitées dans les Zibans et sont même à l'origine de certains palmerais qui étaient alimentés directement grâce aux sources et aux nombreux puits traditionnels.

On classe dans cette catégorie les nappes alluviales de oued Biskra en amont de la ville et de oued DJEDI.

III.2 LA NAPPE DES ALLUVIONS DE L'OUED BISKRA

Il est bien dommage de constater, suite à notre recherche bibliographique, que les études hydrogéologiques concernant l'aquifère alluvionnaire de oued Biskra sont extrêmement rares.

Il faut dire que la seule étude a été faite en 1967 et concerne les possibilités d'exploitation optimum du réservoir alluvionnaire. Celle-ci a été prise en charge par la Société d'Exploitation Urbaine et Rurale des Eaux du Sahara (S.O.D.E.X.U.R.). Le travail a été confié au Département Hydrologie de la Société Centrale pour l'Equipement du Territoire (S.C.E.T./COOPERATION).

Depuis cette date, aucune étude sérieuse n'a été entreprise. Pour Cette raison, la partie qui va suivre est en grande partie tirée du document finale de la S.C.E.T./COOPERATION.

III.1 DESCRIPTION DE L'AQUIFERE ALLUVIONNAIRE

Les limites géographiques de la nappe se rapportent au remblaiement actuel des terrasses des oueds, en effet ces limites sont beaucoup plus basses que cette bordure.

La nappe alluviale de l'oued Biskra est située en amont de la ville et s'étend sur une superficie de 5Km² avec une épaisseur moyenne de 20m ; le volume d'alluvions déduit par la géophysique étant de 100 Hm³ (figure.III.1).

L'extension verticale de la nappe dépasse parfois 40 mètres, où l'on rencontre des grandes lentilles d'argiles quaternaires marquant le substratum local de la nappe.

Mais cette hypothèse du substratum est discutable, du fait qu'on passe directement parfois sur des niveaux de calcaires compacts. En général le mur est atteint à 40 mètres quelle que soit sa nature, calcaire ou argile.

La surface piézométrique se trouvait à 3 mètres en moyenne sous le niveau du sol, par contre ; elle peut baisser plus profondément en période sèche, vu le grand pompage par forage et l'intensité de l'évaporation superficielle.

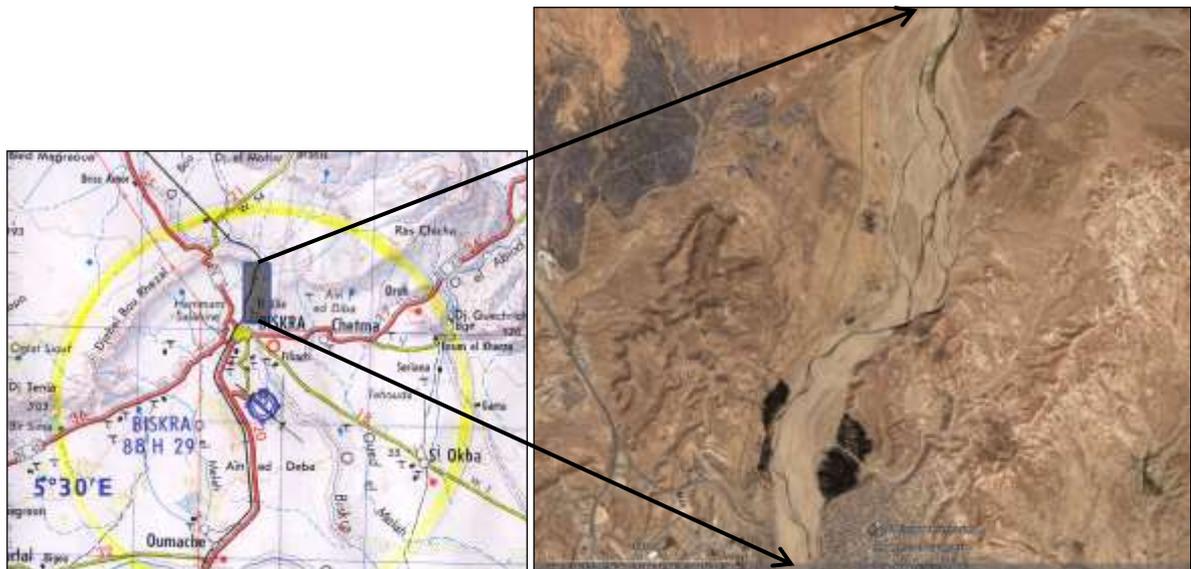


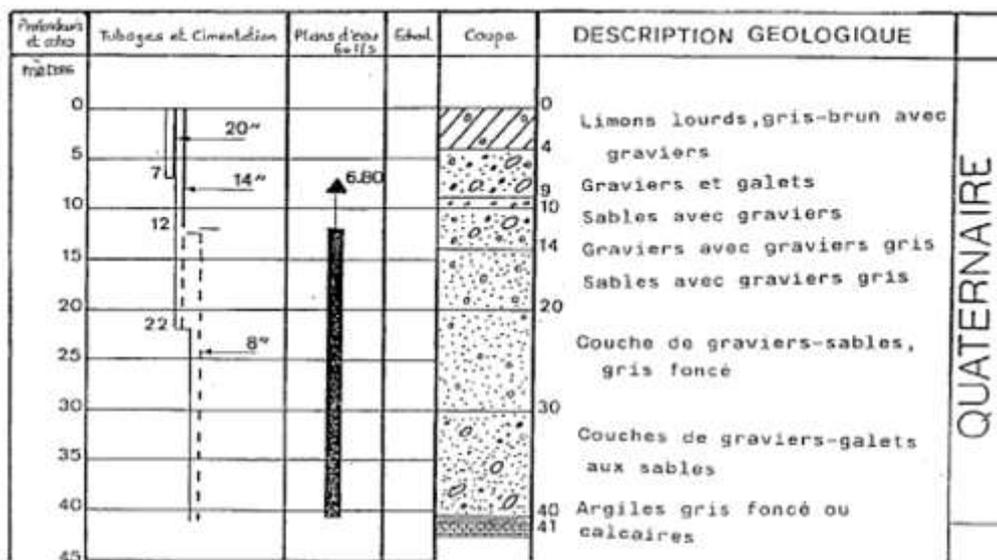
Figure III.1 : Situation géographique de la nappe alluviale de Oued Biskra

III.3 CARACTERISTIQUES DE LA NAPPE

Le réservoir se répartit en deux parties distinctes :

- Une zone amont, large, de transmissivité très élevée elle s'étend sans discontinuité jusqu'aux cluses amonts de l'oued Besbes
- A l'aval ; le lit se rétrécit principalement au niveau de la cluse miocène. Cette partie forme l'exutoire naturel de la partie amont.

La limite avale du réservoir est formée par la barre pliocène qui ferme en partie le réservoir.



EXTRAIT DE LA CARTE TOPOGRAPHIQUE
Echelle : 1/50.000



① Localisation de sondage
Source: DHW, 1985

Figure III.2 : Caractère lithologique et hydrogéologique du forage « F3 »

III.3.1 Historique de l'exploitation de la nappe alluvionnaire

Avant la mise en exploitation par pompage en 1954, le réservoir alluvionnaire de l'oued Biskra était le siège d'écoulement pérenne.

La plus ancienne observation est due à M. VILLE (en mars 1861) qui avait estimé l'écoulement de la nappe à 300 l/s environ. L'ingénieur Duval en 1925 avait trouvé un débit de 200 l/s, pour la seule source de « Ras El Ma » (tableau.1).

Tableau III.1 : Débit des sources avant les pompages d'après M- Duquesnoy (en l/s).

	1951	1952	Février 1953	Juin 1953	Sept 1953	Oct 1953
RASE EL MA		93	94.5	84		90
SOURCE DE FILLIAICHE	30	18.8		56	53.5	54.5

Depuis 1954 et devant le développement de la ville de Biskra et l'augmentation de ses besoins en eau, le réservoir a été soumis à une exploitation par pompage à un débit de 300 l/s par quatre forages placés en travers du cours de l'oued et deux autres à l'amont.

Les pompages ont provoqué le tarissement des résurgences, et les observations sur les piézomètres ont montré que le niveau moyen de la nappe fluctue selon les apports entre 18 et 3 m sous le sol, hauteur d'un niveau moyen correspondant à un nouvel état d'équilibre.

Le pompage n'a pas provoqué le tarissement du système, le niveau a retrouvé certaines années le niveau initial de l'écoulement.

Actuellement 14 forages captent les eaux de cette nappe. D'après «L'ADE », les débits exploités s'élèvent au total à près de 300 l/s (tableau.III.2) et le niveau statique est autour de 25 m de profondeur.

N°	Ouvrage de production	Qmob(l/s)	Qexp(l/s)
1	F1	40	23
2	F2	40	22
3	SIF4	50	28
4	F3	50	18
5	F4 Remp		
6	B1	100	41
7	Sif6	30	7
8	Sif6bis	45	8
9	F environnement N°1	35	23

10	F environnement N°2	35	15
11	B3 bis	25	7
12	B1 bis	25	20
13	B2	35	21
14	B3	12	10

III.3.2 La piézométrie

La seule carte piézométrique porte la date du mois de Mai 1966 (figure III.3), elle montre un écoulement de pente régulière affecté d'une importante dépression localisée au droit des ouvrages d'exploitation dépression aggravée par la proximité des limites du réservoir à cet endroit

La direction générale de l'écoulement est du Nord vers le Sud, les niveaux piézométriques varient de 155m d'altitude à 115m à l'aval.

La nappe à l'amont a une épaisseur variant entre 10 à 20m puis s'épaissit sensiblement avec des valeurs atteignant 40m juste après la confluence des oueds Biskra et l'Eftah.

Vers l'aval, le réservoir présente une épaisseur d'environ 20m au niveau de l'axe central de l'oued et 10m vers les berges.

La surface piézométrique se trouvait en 1966 à 3 mètres en moyenne sous le niveau du sol, par contre, elle peut baisser plus profondément en période sèche, vu le grand pompage par forage et l'intensité de l'évaporation superficielle.

III.3.3 La transmissivité

Les plus hautes transmissivités sont observées à l'amont de l'aquifère et atteignent $6.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, elles diminuent sensiblement vers les berges à $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (figure.III.4).

Vers le sud; les valeurs maximales sont localisées au milieu de l'oued selon l'axe longitudinal ($2.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) et diminuent vers les berges pour atteindre une valeur de $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Notons que ces transmissivités ne sont pas actualisées, et il est fort probable qu'elles ont diminué, suite à l'abaissement du niveau piézométrique général de la nappe.

Les essais de pompages effectués sur les forages captant les alluvions pendant la période 1966 – 1967 donnent des valeurs moyennes de la transmissivité d'environ de $2,5. 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Par contre, la perméabilité est de 7.10^{-4} m/s , alors que le coefficient d'emménagement est estimé à 7% (S.E.S, 1972).

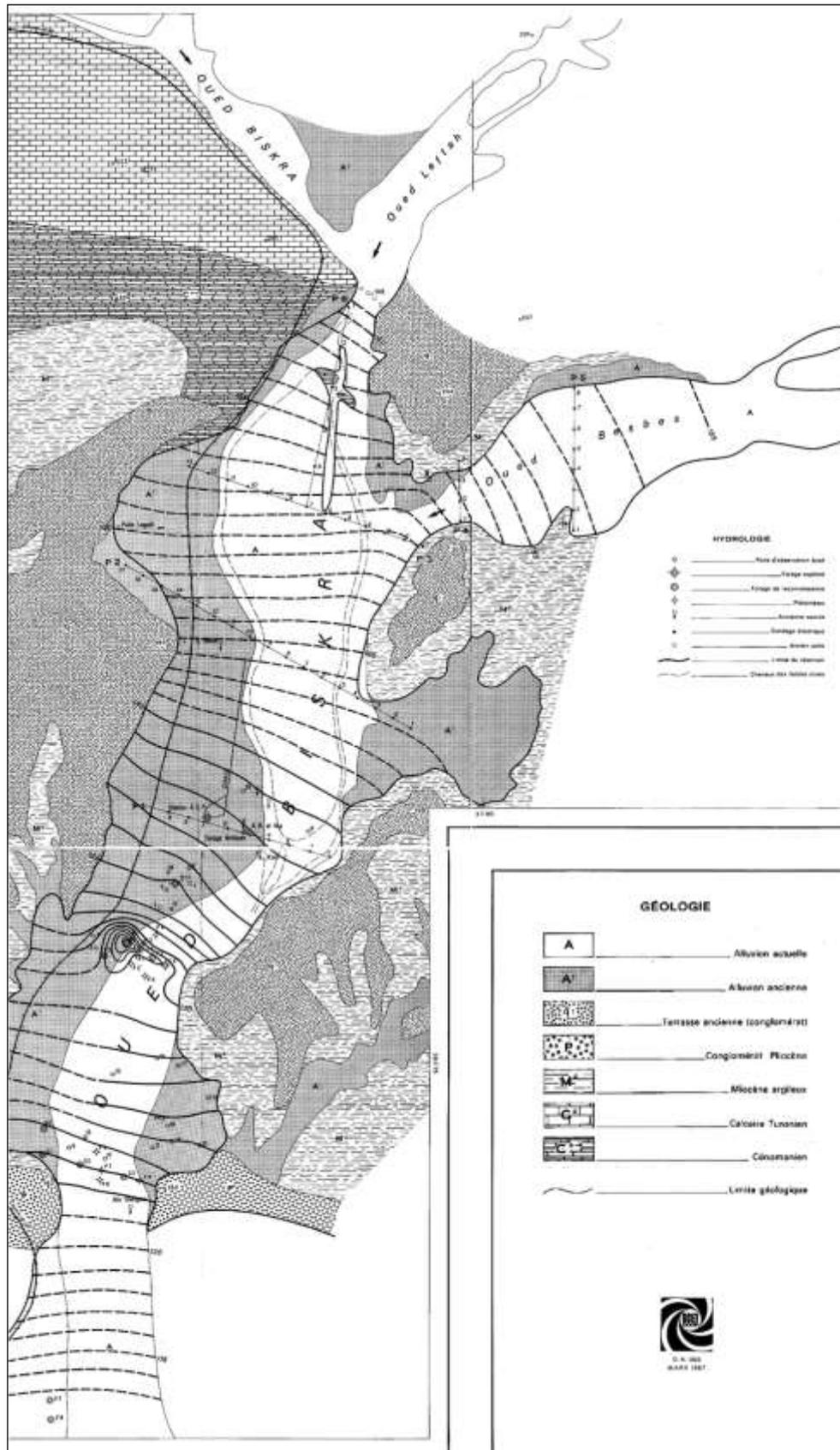


Figure III.3 : Carte piézométrique (SCET COOP MARS 1967).

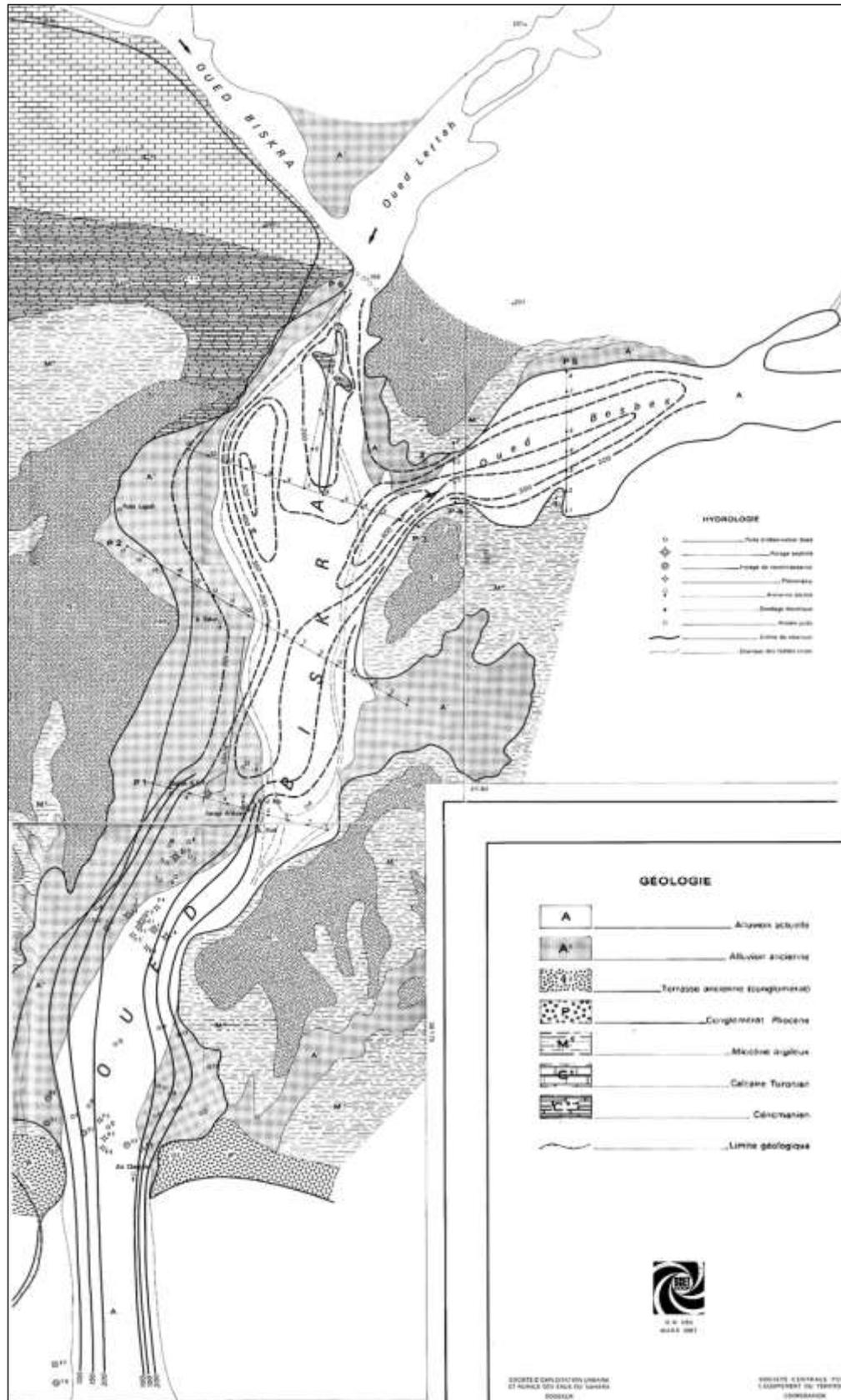


Figure III.4 : Carte des transmissivités (SCET COOP MARS 1967).

III.3.4 La porosité efficace.

La quantité d'eau totale emmagasinée dans les $100 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ d'alluvions dépend de la porosité totale de ceux-ci. La quantité d'eau disponible par pompage et renouvelable par apport des crues dépend de la porosité efficace.

Les valeurs de ce paramètre sont généralement très contre versées car il est difficile d'en faire la mesure in situ avec précision et les mesures de laboratoire sur des carottes de forage sont tout aussi imprécises.

Pour des alluvions grossières et sableuses les chiffres généralement admis en France sont de 10 à 15 %. Les auteurs américains (cf. TODD : Ground water hydrology) prennent généralement des valeurs du « Specific yield » beaucoup plus élevées de l'ordre de 25 à 35 et même 40 %.

Les calculs effectués sur les courbes des piézomètres de BISKRA ont fourni une valeur moyenne de $\phi = 30\%$, soit pour un volume d'alluvions de $100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, un volume emmagasiné d'eau exploitable de $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ environ.

III.3.5 Conditions d'alimentation

Les oueds qui fournissent les volumes d'eau les plus importants proviennent des Aurès. En effet, les débits enregistrés à Biskra sont produits d'une part, par l'écoulement de l'oued Abdi et de ses affluents et d'autre part par les débits de l'oued El Hai-Biskra.

Cependant, les débits de ces oueds ont fait l'objet de très peu de mesures et les stations hydrométriques qui existaient auparavant ne sont plus fonctionnelles.

Il y a une vingtaine d'années, on pouvait estimer l'apport annuel de ces oueds sur le piémont méridional de l'Aurès entre 50 et 70 millions de m^3/an -y compris oued Labiod à Fom El-Gherza (Ballais, 1984). Des mesures plus récentes, tendent à montrer que cet apport serait nettement plus important puisque celui des trois oueds les plus abondants (oued el Abiod à Fom El-Gherza : 20,7 millions de m^3 ; oued el Haï à El Kantara : 18,4 millions de m^3 ; et oued Abdi à Djemorah, au nord de Biskra : 16,5 millions de m^3) dépasse les 55 millions de mètres cubes (H. NADJI et B. GALI, 1992).

Ces valeurs montrent l'importance des apports des oueds à la nappe alluviale.

III.3.6 Alimentation de la nappe

L'alimentation de la nappe des alluvions de l'oued Biskra semble provenir de deux origines différentes :

- Une alimentation superficielle par des apports pluviométriques où on enregistre entre 150 et 200 mm/an.
- A cela s'ajoutent les apports considérables amenés en amont par l'oued en période de crue qui traverse la couverture limoneuse peu épaisse et s'infiltré pour atteindre la nappe phréatique.

Ces deux sources d'alimentation semblent ne pas expliquer le volume important extrait par les pompages (plus de 300 l/s). Il nous paraît possible que les alluvions de oued Biskra soit alimenter par une troisième source à travers les fractures et failles de l'accident sud atlasique affectant la région. Celles-ci offrent la possibilité aux eaux captives des formations carbonatées du Maestrichtien ou du Turonien de remonter et d'alimenter en continu par ascendance les alluvions de l'Oued.

III.2 CONCLUSION

La nappe alluviale de l'oued Biskra se développe sur une superficie de 5km² et une épaisseur moyenne de 20m. Sa forme a été façonnée par l'écoulement de l'oued Biskra creusé dans les marnes imperméables du Miocène et remblayé par des dépôts alluvionnaires du Quaternaire moyen et récent formés essentiellement de galets, graviers, cailloutis et sables.

La réalimentation de la nappe des alluvions de l'oued Biskra semble provenir de deux origines. D'une part, une alimentation superficielle par des apports pluviométriques où l'on enregistre entre 150 et 200 mm/an. D'autre part, des apports considérables amenés en amont par l'oued en période de crue qui traverse la couverture limoneuse peu épaisse et s'infiltré pour atteindre la nappe phréatique.

Quant à l'hypothèse d'un apport profond à partir des calcaires du Maestrichtien ou bien encore du Turonien, à la faveur d'une faille probable dans le substratum miocène argileux, aucune preuve tangible n'est venue la corroborer ou l'infirmier, bien que plusieurs arguments militent en sa défaveur.

Chapitre IV

*Application de la
tomographie à la nappe
alluviale de Oued Biskra*

IV.1 INTRODUCTION

La méthode de la tomographie électrique, aussi appelée panneau électrique, est fondée sur la mesure des résistivités apparentes du sous-sol le long d'un dispositif rectiligne d'électrodes plantées dans le sol. Elle apporte des informations sur la géométrie des couches du sous-sol et sur les anomalies ou structures particulières qu'elles peuvent receler comme des failles, des poches d'argile ou de sable ...

Au plan pratique, les électrodes sont régulièrement espacées et leur nombre est généralement compris entre 24 et 128 électrodes. La longueur du dispositif peut varier de quelques dizaines à quelques centaines de mètres.

Les données de résistivité apparente sont « inversées » (logiciels Res2Dinv/Res3Dinv) pour obtenir une coupe de la répartition des résistivités calculées sous le dispositif d'électrodes. Le domaine d'application de la tomographie électrique dépend des limites de la méthode qui sont principalement liées aux résistivités et aux contrastes de résistivité des formations en présence, à la qualité du contact électrode/sol et au procédé d'inversion qui peut dans certains cas restituer des biais masquant l'information utile. Les limites entre formations géologiques doivent être contrôlées et calées à l'aide de sondages mécaniques qui permettent également d'identifier leur nature géologique.

L'objectif principal de ce présent travail repose sur l'utilisation et l'application de la tomographie à l'étude de la structure de la nappe alluviale de oued Biskra.

IV.2 ORGANISATION ET DEROULEMENT D'UNE CAMPAGNE

Avant tout, il est nécessaire avant de dimensionner la campagne de connaître :

- la finalité de l'étude,
- la cible : nature, taille et profondeur,
- le contexte géologique (il doit être pris en compte au-delà de la profondeur d'investigation souhaitée) et hydrogéologique (présence d'une ou plusieurs nappes à partir d'une certaine profondeur),
- d'éventuelles archives de sondages effectués dans la zone étudiée (permet notamment de positionner les premiers panneaux électriques de la campagne),

- l'environnement au sens large : accessibilité, occupation des sols, infrastructures pénalisantes (lignes HT, canalisations, ...),
- la topographie,
- les délais demandés

La conception et la préparation d'une campagne commence par la vérification du fait que la technique est bien indiquée pour le problème posé. En particulier, les contrastes de résistivités sont-ils suffisants pour que les cibles visées soient distinguées ?

Il s'agit ensuite de choisir le type de dispositif à utiliser (en fonction de la structure supposée des cibles auscultées), et ses dimensions (une modélisation préalable peut être utile).

En présence d'un terrain bruité et sans aucune connaissance préalable de la géométrie du corps à étudier, utiliser de préférence un dispositif Wenner-Schlumberger. Ce dispositif peut à la fois être utilisé en recherche géologique à grande échelle, en hydrogéologie, en génie-civil, en archéologie et pour des problèmes d'environnement.

Lorsqu'il s'agit de mettre en évidence des structures horizontales, si le terrain n'est pas trop bruité et qu'on dispose de peu de temps, utiliser un dispositif Wenner.

IV.3 PRECAUTIONS DE MISE EN ŒUVRE SUR LE TERRAIN

- Assurer un alignement à +/- 1 m / ligne médiane
- Bon couplage terrain / électrodes (éventuellement améliorer ce contact par mouillage de l'électrode).
- Éviter les mesures à proximité de matériaux conducteurs en sous-sols (canalisations métalliques, réseaux, ...). Pour les mesures en site urbain notamment, le rapport signal/bruit est très défavorable.
- Préparer la mission (plans adaptés, photos,..) pour faciliter le repérage sur site.
- Penser à prendre une batterie supplémentaire, pour suppléer la batterie principale.

IV.4 STRATEGIE DE PROSPECTION

En raison du manque d'informations récentes sur le secteur d'étude choisi, nous avons adopté une stratégie de prospection scindée en deux étapes :

- la première est de prospecter dans une zone productive d'eau souterraine, avec trois forages en exploitation, et classée comme ayant une transmissivité moyenne à élever ;
- la deuxième est située un peu plus à l'aval avec une transmissivité moyenne à faible, avec absence de forage à proximité.

Le système électrique utilisé pour les profils d'imagerie est le SARIS (*Scintrex Automated Resistivity Imaging System*) de Scintrex du laboratoire de génie civil de l'université de Biskra.

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 accessoires nécessaires sont les suivants :

- 5 câbles d'imagerie électrique de 5 électrodes chacun espacées de 5m.
- 55 électrodes en acier inoxydable d'injection et de réception de courant de 40 cm de longueur et de 1,4 cm de diamètre, relié au résistivimètre et le convertisseur à l'aide d'une flûte et des pinces appropriées.
- Marteaux.

Les cinq câbles d'imagerie ont une longueur totale de 125 m, ce qui donne une profondeur d'investigation un peu plus de vingt (20) mètres, profondeur qui est à notre avis insuffisante pour une bonne prospection de la nappe.

Pour augmenter la profondeur d'investigation, nous avons été amenés à emprunter un deuxième jeu de câble d'imagerie au laboratoire d'hydrogéologie de la faculté des sciences de la terre de l'université de Bab Ezzouar. Ce qui nous donne une longueur totale de 275 m.



Figure IV.1 : Système d'acquisition SARIS de Scintrex et les câbles d'imagerie

IV.5 TRAITEMENT DES DONNEES

Les valeurs obtenues sur le terrain sont des résistivités apparentes relatives à un certain volume de sous-sol, à partir desquelles on détermine les résistivités vrais du terrain à l'aide du logiciel RES2DINV de Loke et Barker (1996). Ce programme est basé sur une méthode d'optimisation par moindres carrés généralisés.

IV.1.1 Concept d'inversion

L'inversion est une méthode itérative automatique qui peut fournir un modèle de la résistivité électrique réelle afin de placer les structures à une profondeur adéquate. Afin d'obtenir une image représentant les distributions spatiales de la résistivité réelle (et non plus apparente) en fonction de la profondeur, il est nécessaire d'inverser la pseudo-section. Cette inversion est réalisée suivant un processus itératif qui tente de minimiser l'écart entre la pseudo-section mesurée et une pseudo-section calculée 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 corrélation acceptable ou jusqu'à ce qu'aucune nouvelle amélioration ne soit possible. Le modèle 2-D utilisé par le programme RES2DINV est constitué de blocs dont la répartition et la taille sont définies par la distribution des données de la pseudo-section qui elle-même dépend de la configuration des électrodes.

IV.1.2 Acquisition des données

L'acquisition des données de résistivité électrique a été réalisée en mode Wenner pour les profils. Ce dispositif est recommandé pour les structures horizontales. La profondeur d'investigation est plus faible que celle du Dipôle-Dipôle et du Wenner-Schlumberger et le nombre de points à l'acquisition est inférieur à celui du Dipôle-Dipôle et du Wenner-Schlumberger.

Les valeurs de la résistivité électrique apparente sont représentées en fonction de la distance le long de la ligne de levé, et de la longueur totale de la configuration. Cette représentation est appelée pseudo-section.

IV.6 PROSPECTION LE LONG DU PROFIL N°1

Le premier profil d'investigation transversal à l'oued Biskra a été placé parallèlement à l'axe des forages B1, B3 et B2 (figure IV.2). Les structures géologiques formant l'aquifère alluvial dans cette partie de l'oued sont visibles sur la figure IV.3 représentant le log stratigraphique du forage B1.

Suivant le type de configuration, le volume de la zone sondée varie, mais la profondeur de pénétration interprétable vaut toujours à peu près $L/8$ pour un profil de longueur L .

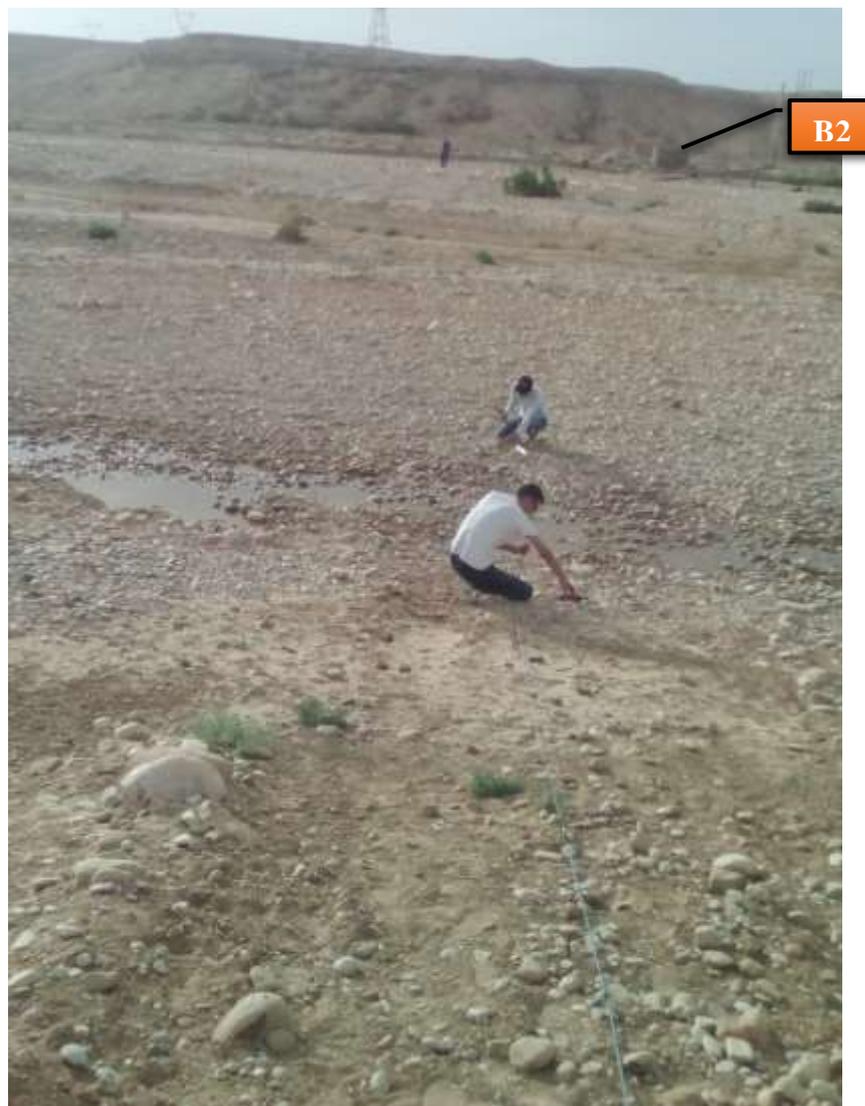
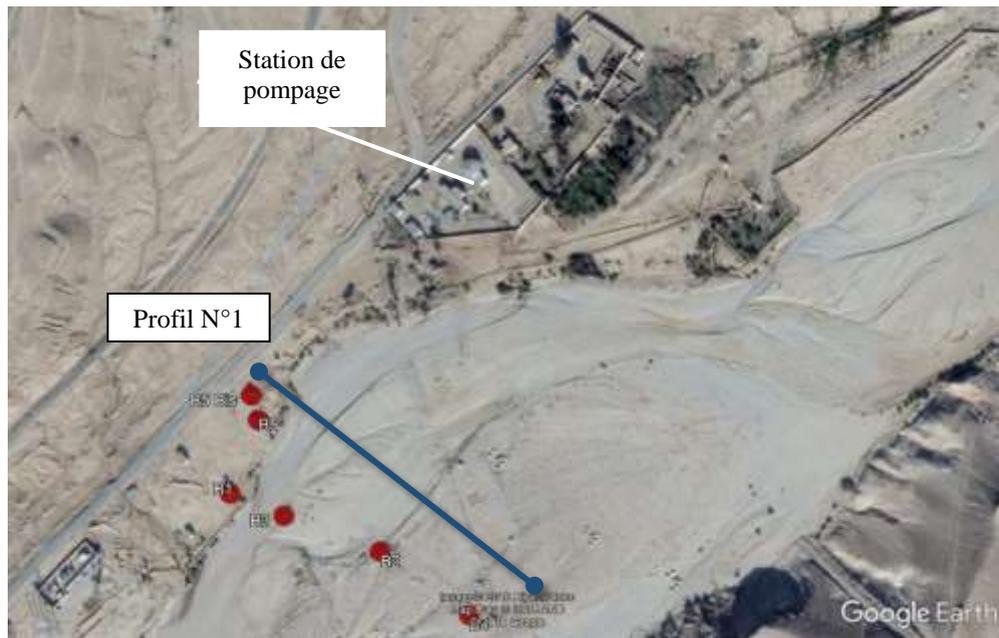


Figure IV.2 : Profil N°1

Oued Biskra n°1 à BISKRA B1 (forage) N° 275 G10
 Carte: 1/100 000 Environs de Biskra
 Date des travaux : 19 2 54 au 17 5 54 Long.: 48° 55' X 3° 77' 92"
 Echelle de la coupe : 1/250 Latit.: 131° 45' Y 38° 75' 60" Z 1 25

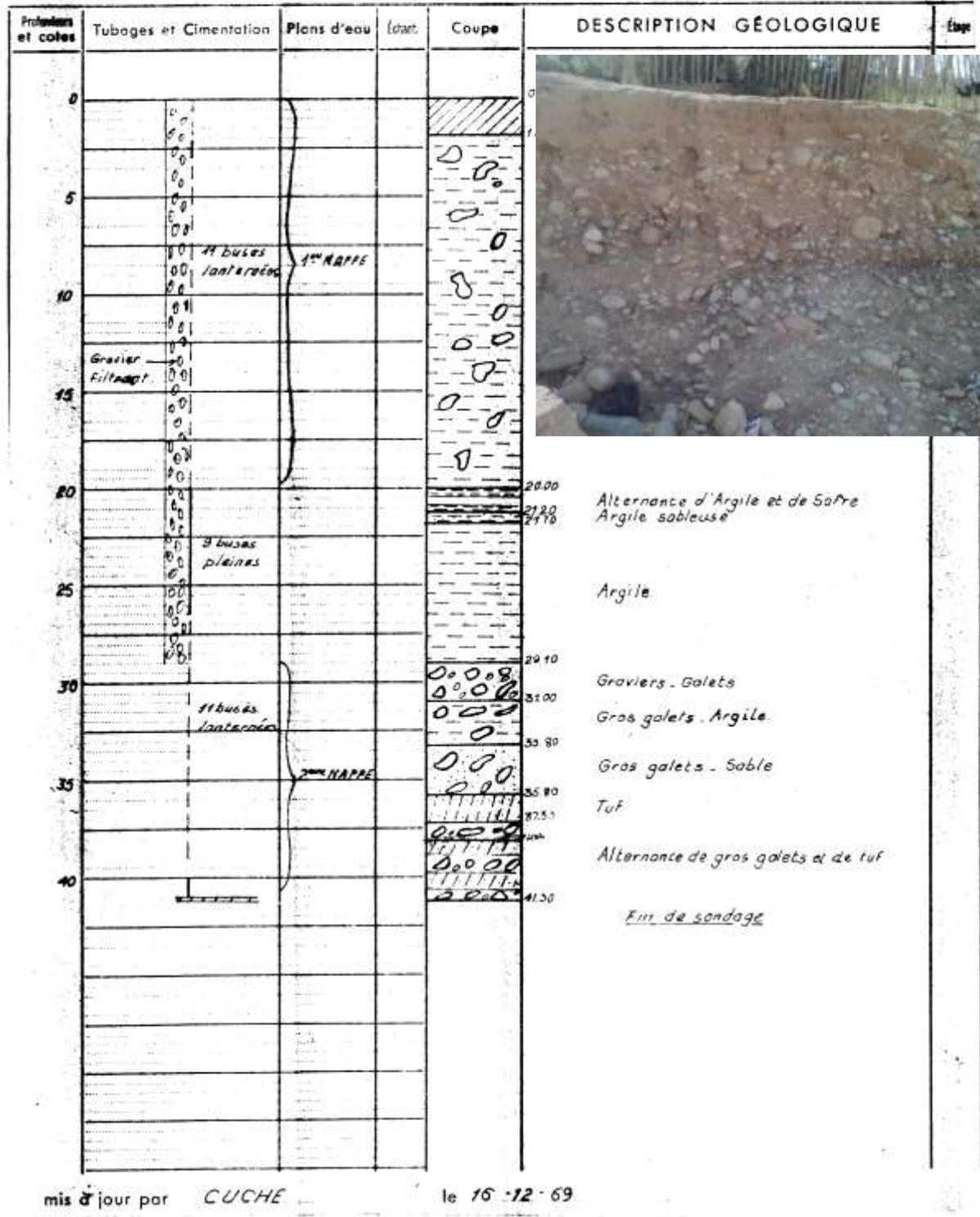


Figure IV.3 : Log stratigraphique du forage B1

IV.1.3 Profil pour n=17

L'acquisition des données a été réalisée grâce à un dispositif Wenner de 55 électrodes espacées de 5m et avec n=17. Ce qui nous a permis d'avoir la pseudo-section de la figure IV.4 avec une profondeur d'investigation de plus de 40 m.

Sur la figure IV.5 nous pouvons constater qu'il existe des mesures dont la résistivité apparente est très forte ou très faible par rapport aux points voisins. Un tel changement aussi rapide ne pouvant être dû à un phénomène géologique, de telles données doivent être éliminées.

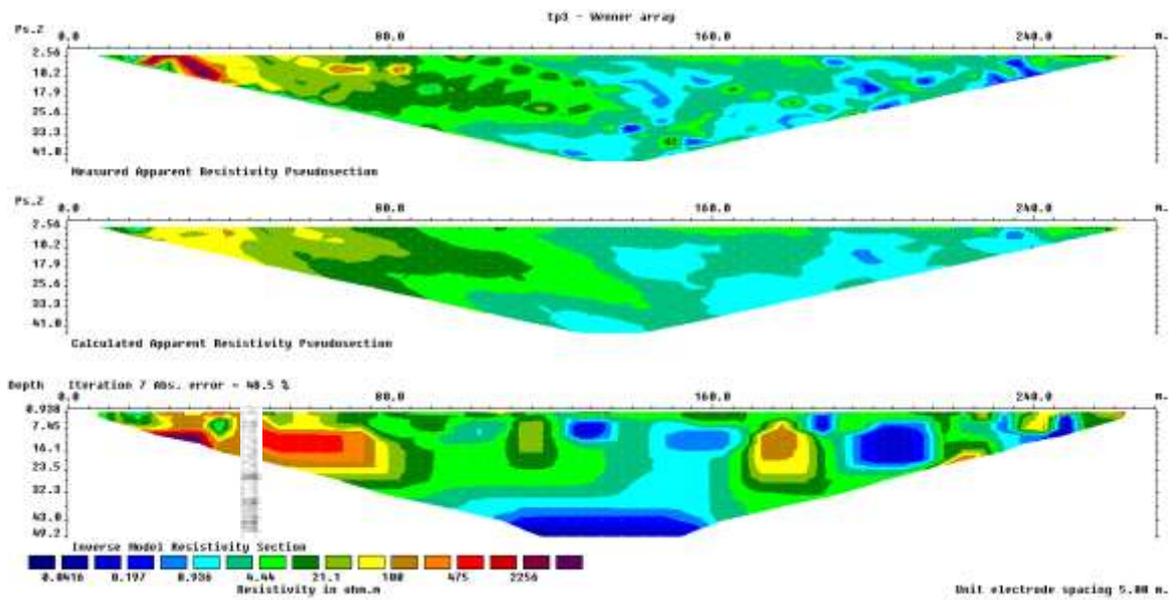


Figure IV.4 : Pseudo-section du profil N°1 (n=17)

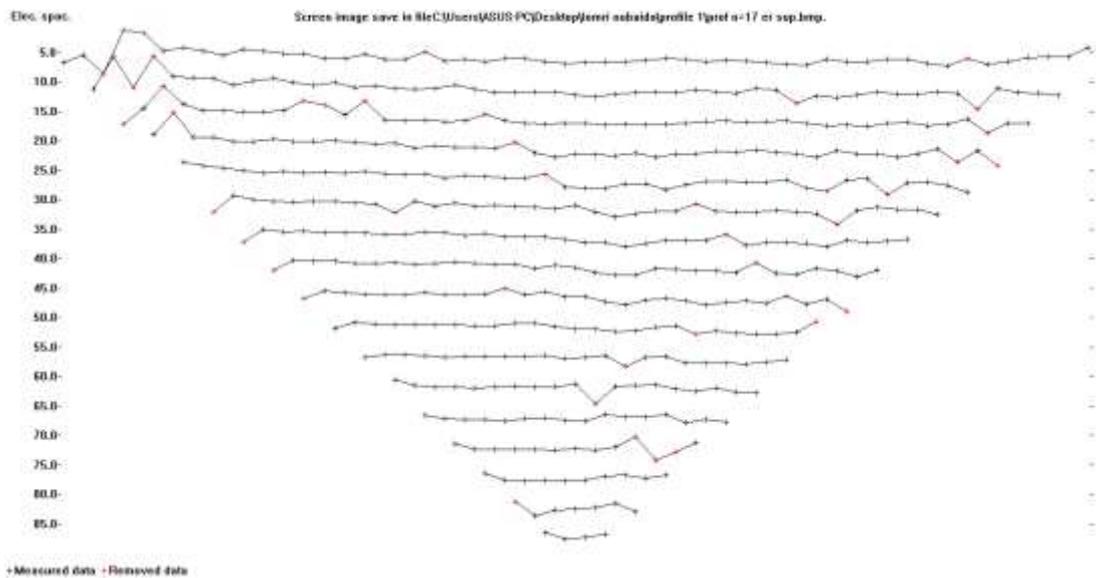


Figure IV.5 : Elimination des valeurs aberrantes sur le profil N°1

Le passage au logiciel Res2Dinv nous permet, à partir des valeurs de résistivités apparentes mesurées sur le terrain, de trouver les résistivités calculées (\approx vraies) du terrain d'étude, ce qui a donné la configuration de la figure IV.6.

La longueur du profil de 275 m a permis d'arriver jusqu'à 49 m de profondeur d'investigation.

Ce qui est évident, c'est la présence d'un horizon très conducteur, de 0,0517 à 0,618 Ω .m, (bleu), observé sur la partie centrale du profil à partir de 30 m de profondeur jusqu'à 49 m et qui pourrait correspondre aux gros galets, sables et argiles traversés par le forage B1. Malheureusement, nous n'avons pas pu avoir les logs stratigraphiques des forages B2 et B3, avec lesquels l'approche aurait été plus pertinente.

Les très faibles valeurs des résistivités sont principalement dues à :

- La très forte perméabilité de ces formations alluvionnaires,
- La saturation en eau, elle-même extrêmement chargée en sels minéraux (conductivité supérieure à 3000 μ S/cm)
- Les fortes températures de cette eau ($T= 31^\circ\text{C}$)

Cet état de figure suggère que nous sommes en présence d'une alimentation de la nappe alluviale par des eaux profondes à hautes températures. L'intrusion de ces eaux chaudes et minéralisées dans les conglomérats et suivie d'une légère diminution de la température de l'eau qui est accompagnée par une légère augmentation de la résistivité.

Sur la rive droite de l'oued, on note la présence d'un horizon très résistant (rouge) sous forme de lentille (résistivités comprises entre 88 et plus 305 Ω .m), entre la profondeur 7 et 30 m. Cette formation semble correspondre à une couche d'alluvions et de galets secs. Plus le milieu est résistant, plus la proportion en galets est importante.

Alors que les milieux moins conducteurs (résistivités comprises entre 2 et 80 Ω .m), semblent composés d'alluvions fins et qui sont parfois saturés en eau avec des températures qui avoisinent les 25 $^\circ\text{C}$.

Figure IV.6 : Inversion de la pseudo-section du profil N°1

Nous avons voulu voir, par la suite, l'effet de n sur l'allure du profil et sur la profondeur d'investigation, pour cela nous avons procédé à deux essais avec $n=5$ et $n=10$, tout en gardant la même distance, à savoir 275 m et le même nombre d'électrode (55).

IV.1.4 Pour $n=5$

Pour rappel n et le nombre de profondeur (figure IV.7). Pour cet état de figure nous avons obtenu la pseudo-section de la figure IV.8. Dans celle-ci la profondeur d'investigation obtenue est de 16 m. Là aussi, nous avons été amenés à supprimer certaines valeurs aberrantes des résistivités.

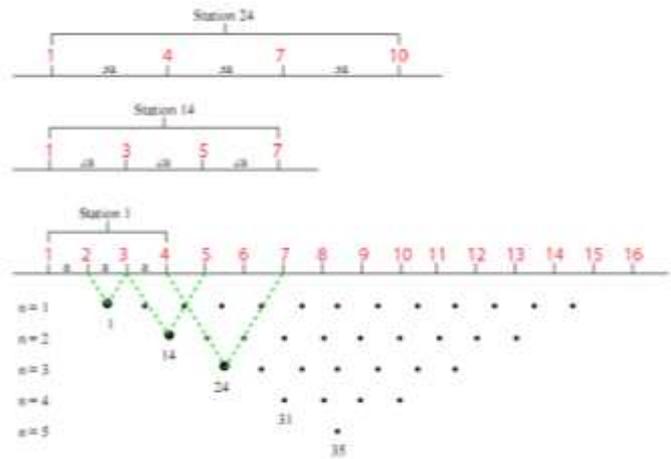


Figure IV.7 : Principe de construction d'une pseudo-section pour la configuration Wenner

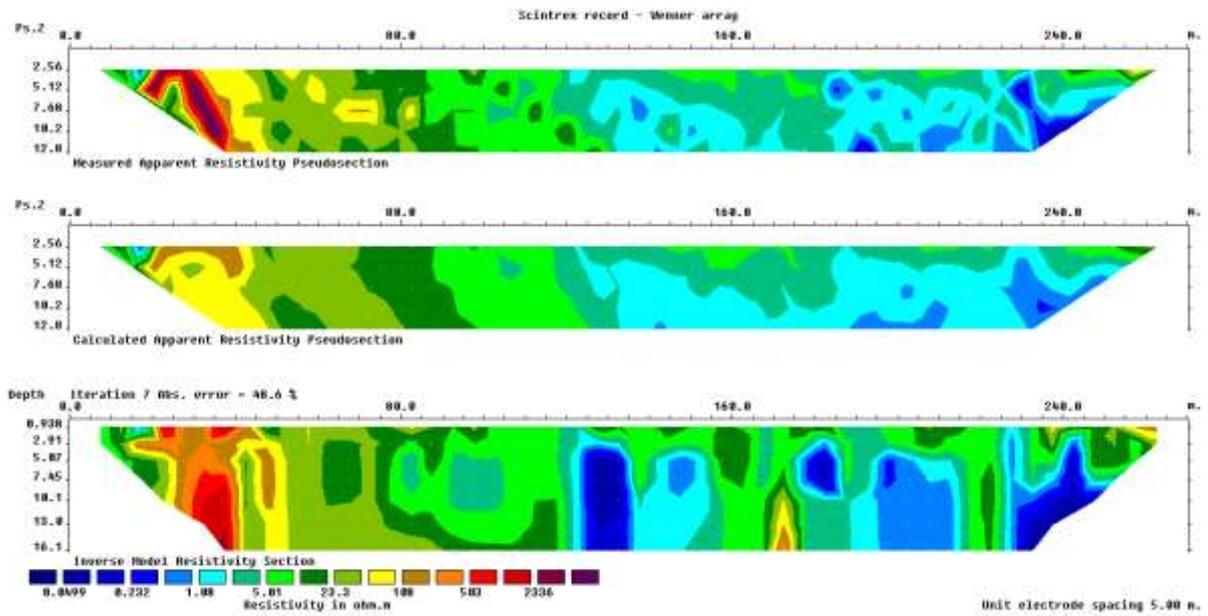


Figure IV.8 : Pseudo-section du profil N°1 avec $n = 5$

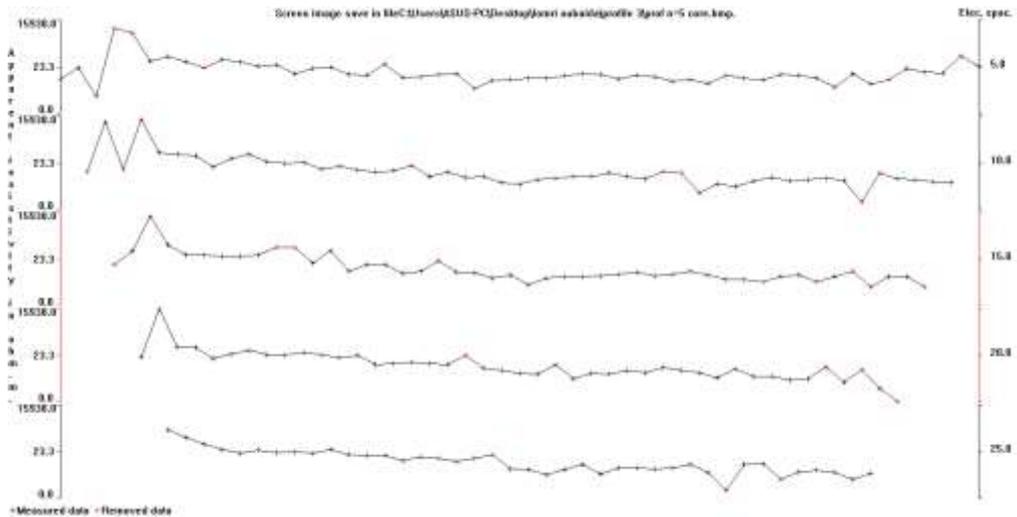


Figure IV.9 : Elimination des valeurs aberrantes sur le profil N°1 avec n=5

Après inversion, nous obtenons la configuration de la figure IV.10, sur laquelle on retrouve les horizons résistants sur la rive droite de l’oued à partir de 5 m de profondeur avec des valeurs allant jusqu’à 800 $\Omega.m$ et les couches très conductrices au niveau de l’axe de la nappe alluviale. Le reste de l’aquifère a des résistivités entre 2 et 47 $\Omega.m$.

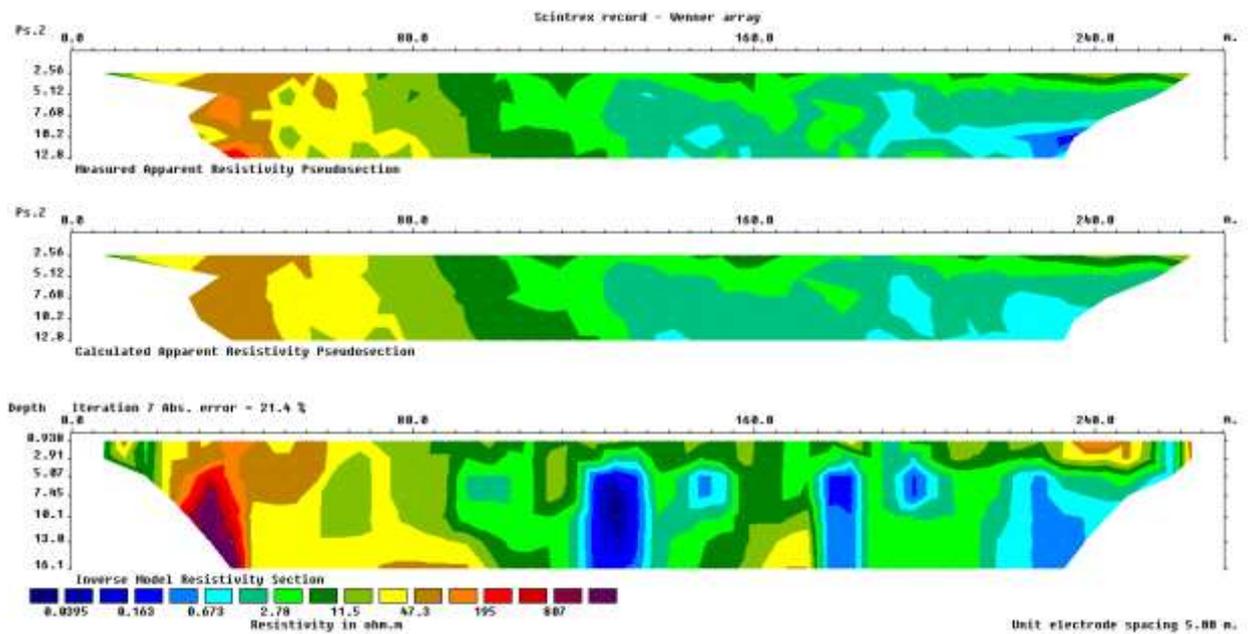


Figure IV.10 : Inversion de la pseudo-section du profil N°1 avec n=5

IV.1.5 Pour n=10

Toujours avec le même profil, mais cette fois ci avec n=10, nous obtenons une profondeur d'investigation de plus de 27 m. La grande partie de l'aquifère possède des résistivités moyennes qui varient de 0,7 à 11 Ω.m. Les plus faible valeurs, au centre de l'aquifère, oscillent entre 0,01 et 0,05 Ω.m de traduisant ainsi une très forte conductivité due à une saturation en eau des formations.

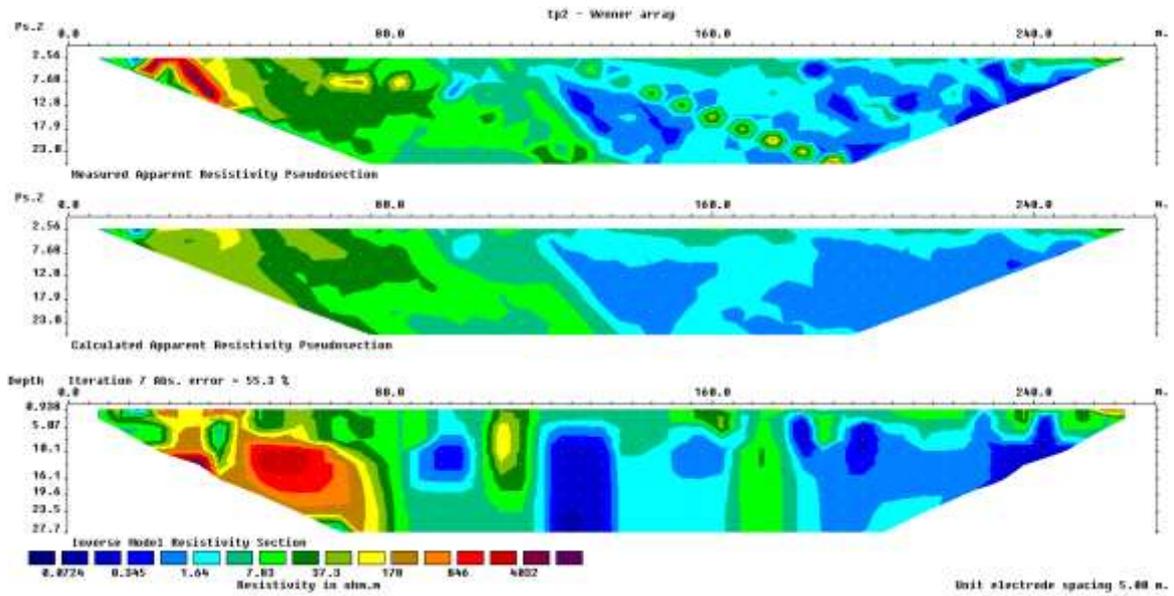


Figure IV.11 : Pseudo-section n=10

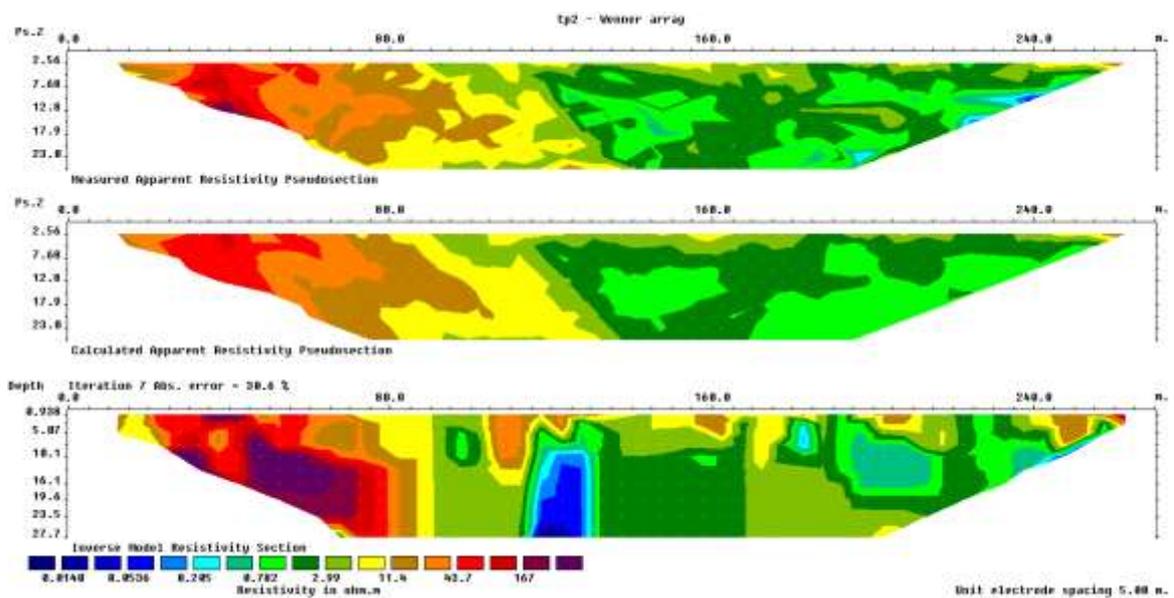


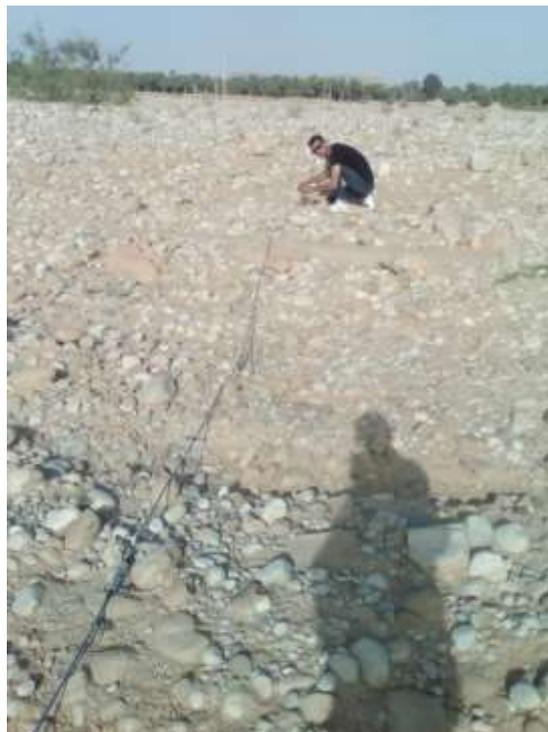
Figure IV.12 : Correction et Inversion de la section des résistivités avec n=10

IV.7 PROSPECTION LE LONG DU PROFIL N°2

Le deuxième profil est situé plus à l'aval du profil N°1 et contrairement à ce dernier, la zone est exempte de forages (figure IV.13). Nous avons gardé le même type de profil, à savoir ; une longueur de 275 m et 55 électrodes espacées de 5 m. Ce qui nous permis d'avoir avec $n=17$ la figure IV.15 et après correction et inversion le schéma de la figure IV.17.



Figure IV.13 : Situation du profil N°2



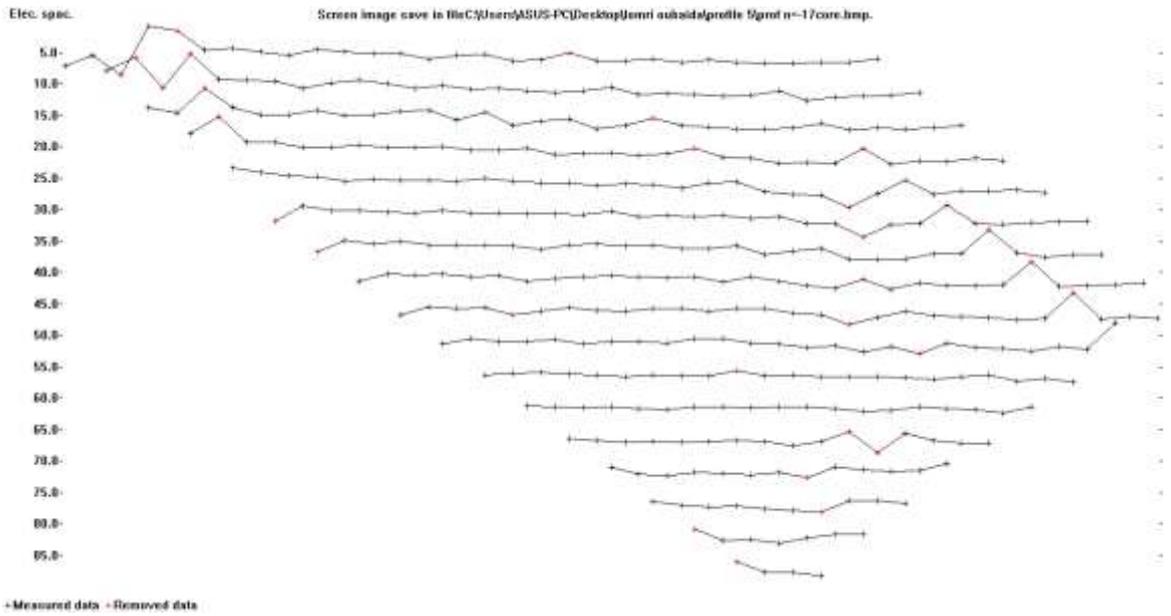


Figure IV.14 : Elimination des valeurs aberrantes sur le profil N°2 avec n=5

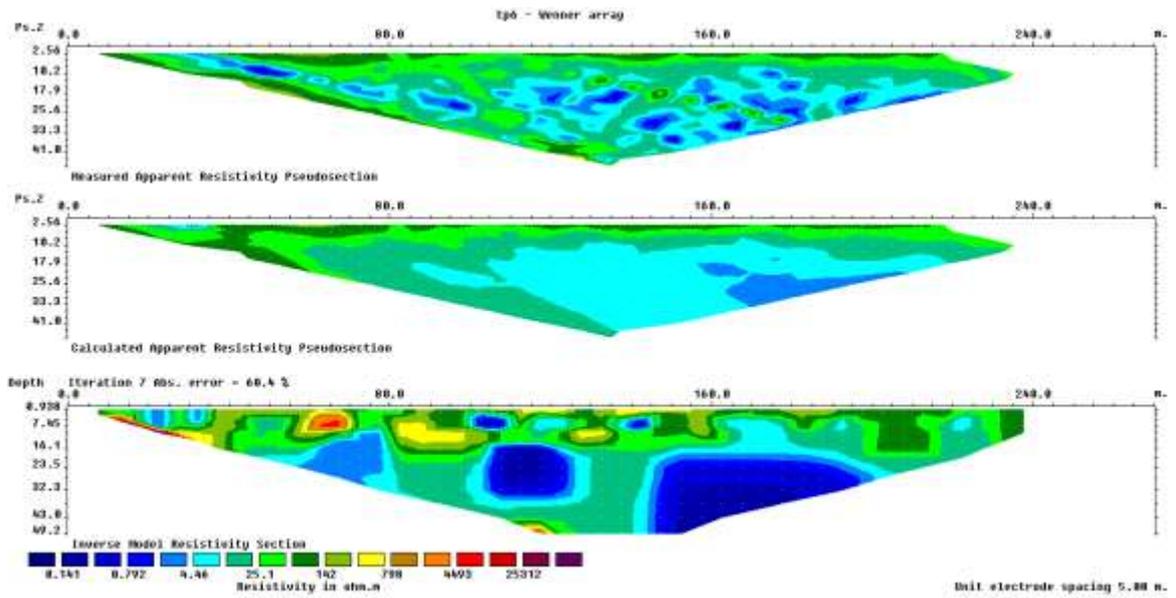


Figure IV.15 : Pseudo-section du profil N°2

Sur ce profil, nous arrivons à distinguer deux zones principales de résistivités différentes ; la première avec des résistivités allant de 0,118 à 4 Ω .m et concerne une zone située à 160 m de la rive droite, avec toujours une augmentation de la résistivité à partir du mur de l'aquifère.

La deuxième gamme de résistivité, qui est entre 4 et 160 Ω .m, et concerne 80% du profil N°2.

Il est à noter l'existence sur la rive droite d'une petite portion de terrains extrêmement résistants avec des valeurs dépassant les 37000 Ω .m.

Donc, dans l'ensemble, nous sommes en présence d'une zone à faible conductivité, comparativement à la zone amont. Ceci explique l'absence de forage

Figure IV.16 : Inversion de la pseudo-section du profil N°2

IV.8 CONCLUSION

L'aquifère de Oued Biskra est de type alluvionnaire formé par des galets, sable, argile et conglomérat. Pour approcher la structure cet aquifère, nous avons tenté à travers une prospection géophysique par tomographie basée sur la mesure de la résistivité des formations géologiques de déterminer et de localiser les zones conductrices et celles qui sont résistantes.

Notre travail de terrain à consister à choisir deux profils d'injection ; le premier dans une zone productrice d'eau avec la présence de quatre forages d'un débit initial de plus de 150 l/s et une zone située plus en aval dans une zone exempte de forage.

Pour des commodités de mise en œuvre et parce que les électrodes des systèmes multi-électrodes sont généralement reliées par un même câble, les mesures ont été réalisées le long de deux profils de 275 m et 55 électrodes avec une configuration du quadripôle de Winner.

Sur les deux profils, nous avons mis en évidence l'existence de zone extrêmement conductrice située sur l'axe centrale de l'aquifère et au niveau du mur de celui-ci, suggérant la présence d'une zone saturée en eau fortement minéralisée avec des températures élevées.

Cet état de figure nous laisse penser que nous sommes en présence d'une alimentation ascendante de l'aquifère (forme d'intrusion) à partir des formations plus profondes. Ceci peut expliquer le non tarissement de la nappe, malgré les très forts débits de pompage.

CONCLUSION GENERALE

La présente étude, repose sur l'utilisation de la méthode de la tomographie électrique à l'étude de la nappe alluviale de oued Biskra. Cette méthode peu couteuse et rapide à mettre en œuvre permet d'obtenir une image du sous sol en fonction de ses propriétés électrique.

Les méthodes géophysiques électriques dites géo électrique en particulier la tomographie a pour but la détermination de la résistivité de la structure étudiée. En tomographie par courant continu, le paramètre de résistivité électrique, l'inverse de la conductivité, est le plus couramment utilisé. Cette résistivité dépend de différents facteurs tels que la porosité, la saturation et la qualité de fluide ou encoure la température. Dans le cas de la prospection électrique en courant continu, le courant électrique est principalement transporté par les électrons (conduction électronique dans les métaux) ou par les ions (conduction électrolytique dans les fluides). Dans la nature, la gamme des résistivités est très étendue.

Nous avons examiné cinq injections sur des profils de 275 mètres de longueur et avec 55 électrodes. Deux de ces profils ont été placés dans deux endroits que nous avons estimé judicieux ; le premier dans une zone à forte exploitation (présence de plusieurs forages) et le second dans la partie aval de la nappe et qui exempte de forage. Nous avons pris en considération les profils dont la qualité de l'inversion et du modèle obtenu est considérée satisfaisante.

Les résultats obtenus soulignent clairement l'importance de la tomographie électrique dans la découverte du sous-sol et la caractérisation de la structure de la nappe. Puisque cette méthode nous a permis de mettre en évidence des variations latérales et verticales de la porosité et chose la plus importante apporter une explication à la recharge de la nappe.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aizebeokhai A (2010) 2D and 3D geoelectrical resistivity imaging: theory and field design. *Sci Res Essays* 5(23):3592–3605

Barker R D (1996) The application of electrical tomography in groundwater contamination studies, EAGE 58th Conference and Technical Exhibition Extended Abstracts

Chapellier D 2001 Prospection électrique de surface, Cours online de géophysique, Université de Lausanne, Institut Français du Pétrole

Comte JC, Banton O 2005 Apport de la tomographie électrique à la modélisation des intrusions salines dans les aquifères côtiers, Exemple des aquifères gréseux des Îles-de-la-Madeleine (Québec, Canada), Proc. 5e Colloque GEOFCAN, Orléans, France

Dhlin T, Bing Z 2003, A numerical comparison of 2D resistivity imaging with ten electrode arrays

Dahlin T, Loke MH 1997 Quasi-3D resistivity imaging: mapping of 3D structures using two dimensional DC resistivity techniques, Proceedings of the 3rd Environmental and Engineering Geophysics Meeting, Aarhus, Denmark, Expanded Abstracts, pp. 143–146

Dahlin T 1989 The development of a cable system for vertical electrical sounding and a comparison of the Schlumberger and Offset Wenner methods, Licentiate Thesis, Lund University, Sweden.

Dahlin T 1993 On the automation of 2D resistivity surveying for engineering and environmental applications, Doctoral Thesis, Lund University

Dahlin T 1996 2D resistivity surveying for environmental and engineering applications, First Break

Dahlin T 2001 The development of DC resistivity imaging techniques, *Computers & Geosciences*, 27(9), 1019–1029

Dahlin T, Bernstone C 1997 A roll-along technique for 3D resistivity data acquisition with multi-electrode arrays, Proceedings SAGEEP'97, Reno, Nevada, Vol. 2 March 23–26 1997, 927–935.

Daily W, Ramirez A, LaBrecque D, Nitao J 1992 Electrical resistivity tomography of vadose water movement, *Water Resources Research*, 28, 1429–1442

Darcy H 1856 Détermination des lois d'écoulement de l'eau à travers le sable, in Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon, Victor Dalmont (Ed.), Paris

Dubois J, Diament M, Jean-Pascal. C 2011 livre de géophysique cours et exercices corrigés

Geotomo Software 2010 RES2DINV ver. 3.59, Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method, Wenner (a,b,g), dipole-dipole, inline pole-pole, poledipole, equatorial dipole-dipole, offset pole-dipole, Wenner-Schlumberger, gradient and non-conventional arrays, On land, underwater and cross-borehole surveys

Geotomo Software 2012 RES3DINV x32 ver. 3.71 & RES3DINVx64 ver. 4.01 with multi-core support, Rapid 3D Resistivity & IP inversion, using the least-squares method (For 3-D surveys using the pole pole, pole-dipole, dipole-dipole, rectangular, Wenner, Wenner-Schlumberger and non-conventional arrays), On land, underwater and borehole surveys

Loke MH 2000 Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. Technical note of Geotomo Software. Available on line at <http://www.geoelectrical.com>

Loke MH 1994 The inversion of two dimensional resistivity data. Unpublished PhD thesis, Univ. of Birmingham

Loke MH 2001 Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: a practical guide to 2D and 3D surveys. Available at <http://www.geoelectrical.com>

Marescot L (2008) Imagerie électrique pour géologues: acquisition, traitement, interprétation. www.tomoquest.com

Ponton J 2008 Caractérisation hydro-géophysique par tomographie électrique d'un glissement de terrain argileux de type "coulée" à l'échelle de la parcelle et du versant

Reynolds JM 1997 An introduction to applied and environmental geophysics. Wiley, Chichester

Zohdy AAR, Eaton GP, Mabey DR 1974 Application of surface geophysics to groundwater investigation. United States Geological Survey Book 2, Chapter D1

