

# CARACTERISATION ELECTRIQUE DES FORMATIONS AQUIFERES DE L'EST ALGERIEN.

**ABDERRAHMANE BOUDOUKHA & BELKACEM MESSAID**

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée. Université Hadj Lakhadr. Batna.  
Route de Biskra. 05 000 Batna. Algérie  
boudoukha\_abderrahmane@yahoo.fr

## RESUME

La caractérisation électrique des formations hydrogéologiques permet de faciliter l'accès à l'eau dans les zones rurales là où la ressource en eau de surface et souterraine se fait de plus en plus difficile, cas de l'Est Algérien. Ce travail est une synthèse de près de 4 000 sondages électriques verticaux selon le dispositif de Schlumberger, qui ont été effectuées dans la partie orientale de l'Algérie du Nord, dans le but d'implanter des forages dont les eaux sont destinées pour la plupart, à l'irrigation. Les formations locales imperméables ou de faible intérêt hydrogéologique ont une résistivité très variée :  $< 5 \Omega.m$  pour les formations salées,  $\leq 15 \Omega.m$  pour les argiles, 30 à 40  $\Omega.m$  pour les marnes, 60 à 70  $\Omega.m$  pour les schistes et  $> 350 \Omega.m$  pour les formations sédimentaires compactes et les roches éruptives et métamorphiques. Les formations perméables sont caractérisées par des résistivités allant de 20 à 100 ohm.m, parfois similaires à celles des formations imperméables comme les schistes ou des formations perméables non aquifères cas des alluvions d'Azzaba ou les sables de Bir El Ater. Les calcaires karstifiés sont caractérisés par des résistivités qui s'échelonnent entre 250 et 350 ohm.m. Seule une connaissance géologique et hydrogéologique préalable peu éviter la confusion.

**MOTS CLES:** Aquifère. Sondage électrique. Résistivité. Perméable. Imperméable.

## ABSTRAC

Electrical characterization of hydrogeological formations allows easy access to water in rural areas where waters resources of surface and groundwater is becoming increasingly difficult as in eastern Algeria. This work is syntheses of thousands of vertical electrical soundings were carried out in order to implement boreholes whose water is intended for irrigation. Impermeable formations or low interest hydrogeological have a resistivity varied:  $<5 \Omega.m$  for salt formations,  $\leq 15 \Omega.m$  for clays, 30 to 40  $\Omega.m$  for marl, 60 to 70  $\Omega.m$  for schist and  $> 350 \Omega.m$  for compact sedimentary formations and igneous and metamorphic rocks. Permeable formations are characterized by resistivities ranging from 20 to 100 ohm.m sometimes similar to those of formations such as shale or impermeable formations such as aquifers not Azzaba alluvium or sand Bir El Ater. Karstified limestones are characterized by resistivities which range between 250 and 350 ohm.m. Only a preliminary geological and hydrogeological knowledge bit to avoid confusion.

**KEYWORDS:** Aquifer, Electrical sounding, Resistivity, Permeable. Impermeable.

## 1 INTRODUCTION

De nos jours en Algérie, l'utilisation de méthodes géophysiques plus élaborées (électrique multiélectrodes 2D et 3D, électromagnétisme, sismique, ...) côtoie celle de la méthode ancienne des résistivités. Cependant, en raison de son faible coût et de sa mise en œuvre facilement maîtrisable par les techniciens de terrain, la méthode électrique des résistivités par sondage électrique vertical (SEV) est bien adaptée à l'hydrogéologie et qui se veut quantitative et peu invasive, est de loin la plus utilisée. Cette technique permet une bonne connaissance des

caractéristiques géoélectriques des formations perméables surtout quand elles se trouvent à des profondeurs moyennes ( $<200$  m). Dans l'Est algérien, les aquifères superficiels ont été largement surexploités (Boudoukha 1998 ; Khammoudj 2009 ; Demdoum 2010 ; Brinis 2011). L'épuisement de cette ressource est en relation avec l'augmentation du nombre de puits et de forages et la longue sécheresse due au changement climatique. Ceci suggère l'utilisation de nouvelles ressources hydriques profondes, accessibles uniquement à l'aide de forages de profondeur moyenne (150 à 200 m). C'est dans ce but que nous avons effectué entre 1991 et 2010, près de 4000 SEV en ligne en ligne

$AB_{max} = 2\ 000$  m. Ceci nous a permis de caractériser certaines formations hydrogéologiques de l'Est algérien (Boudoukha 2008), de mieux connaître la ressource souterraine et de mettre à la disposition de l'hydrogéologue un outil qui facilite l'interprétation des données géophysiques.

Ce travail est donc une synthèse des résultats de ces prospections qui ont été effectuées dans le but d'implanter des forages dont les eaux sont destinées pour la plupart des cas à l'irrigation de petites exploitations agricoles (1 à 10 hectares). Le choix de la zone à prospector est surtout guidé par des critères géologiques et hydrogéologiques. Le but du SEV est de détecter la présence de formations résistantes susceptibles d'être aquifères ainsi que leurs caractéristiques géoélectriques. Il est également envisagé d'étudier la continuité en profondeur de ces formations pour se fixer sur la profondeur des forages à proposer. Parfois, il est nécessaire d'exécuter plusieurs SEV (selon la superficie de l'exploitation) afin de localiser les drains ou les failles susceptibles d'être aquifères.

Dans ce travail, nous tenterons de présenter les caractéristiques électriques de certaines formations hydrogéologiques de l'Algérie méridionale limitée, à l'Ouest par le méridien de Bejaia, à l'Est par la frontière algéro-tunisienne, au Nord par la mer Méditerranée et au Sud par le méridien Oued Souf-El Djelfa. Cette zone englobe les wilayas de Bejaia, M'sila, Bordj Bou Arréridj, Sétif, Mila, Jijel, Batna, Biskra, Oum El Bouaghi, Skikda, Annaba, Souk Ahras, Khenchela et Tébessa. Fig. 1. Il s'agit d'un quadrilatère limité par les méridiens  $4^{\circ}40'$  E et  $8^{\circ}30'$  E et les parallèles  $37^{\circ}10'$  N et  $34^{\circ}20'$  N.

## 2 METHODE ET MATERIEL

### 2.1 Principe

Le principe de la prospection électrique basé sur la loi d'Ohm, est de déterminer, à partir de mesures effectuées depuis la surface du sol, une caractéristique géoélectrique des couches profondes et d'en déduire des indications sur leur constitution (Gilli et al, 2004). Cette méthode consiste à envoyer à partir de la surface un courant électrique continu d'intensité (I) à l'aide de deux électrodes d'injection

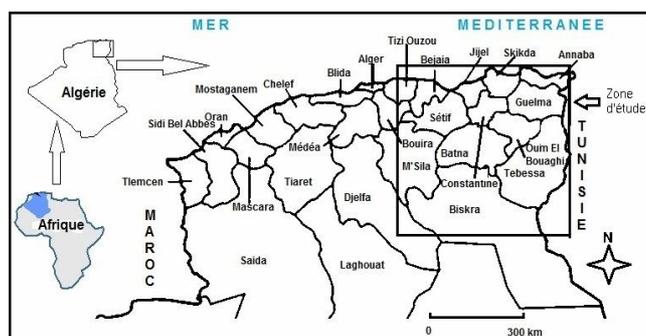


Figure 1: Carte de situation.

A et B qu'on écarte progressivement et à mesurer la différence de potentiel entre deux électrodes de mesure, M et N. Ceci permet de calculer la résistivité apparente ( $\rho_a$ ) en ohm.m ( $\Omega.m$ ) (Astier 1971 ; Mayer De Stadelhof 1992) du terrain à l'aide de la formule [1].

$$\rho_a = K (\Delta V/I) \quad [1]$$

K étant un coefficient géométrique qui dépend de la position du quadripôle AMNB, calculé dans le cas du dispositif de Schlumberger à l'aide de la formule [2].

$$K = \pi (AM \cdot AN / MN) \quad [2]$$

La courbe du sondage électrique tracé en coordonnées bilogarithmiques, représente l'évolution de la résistivité apparente ( $\rho_a$ ) en fonction de  $AB/2$ , son interprétation à l'aide d'abaques, permet de calculer les caractéristiques géoélectriques (épaisseurs et résistivités) des différentes couches traversées par le courant.

### 2.2 Dispositif de mesure

Les dispositifs sont nombreux et variés, le quadripôle que nous avons utilisé est l'AMNB de Schlumberger qui reste le plus répandu. Les électrodes A et B sont en acier et pour limiter le phénomène de polarisation, on a choisi des électrodes M et N en cuivre. En l'absence de tout courant, une différence de potentiel parasite apparaît entre M et N qui doit être éliminée, le plus souvent à l'aide d'une petite source de tension auxiliaire ajustable. Les quatre prises sont disposées en aligne et symétriques par rapport au centre "O" du quadripôle. La source de courant utilisée est obtenue à l'aide de piles sèches (4.5 volts) placées en série, leur nombre augmente avec la distance AB. La mesure de (I) ne pose pas en fait de réels problèmes, par contre la mesure de  $\Delta V$  est plus délicate et devient trop petite pour être mesurée convenablement au fur et à mesure que la distance entre les électrodes A et B augmente. On peut remédier à cette difficulté en augmentant la distance entre M et N qui doit rester inférieure à  $AB/5$  (Astier 1971 ; Mayer De Stadelhof 1992)

### 2.3 Materiel et Méthodes

Les mesures de résistivité apparentes ont été effectuées à l'aide d'un résistivimètre type GESKA, à compensation manuelle. Pour répondre aux objectifs du SEV, nous avons utilisé des lignes  $100\text{ m} < AB < 2\ 000\text{ m}$  disposées selon la géologie et la topographie du terrain. Les SEV sont exécutés au centre d'une maille carrée de 200 m de côté. L'interprétation quantitative des diagrammes  $\rho_a = f(AB/2)$  permet de déterminer le nombre, les épaisseurs, les résistivités réelles des couches et leur nature lithologique probable (Gasmi et al., 2004). Cette interprétation a été fait en deux étapes, la première sur terrain à l'aide de la méthode de Hummel en utilisant l'abaque 2 terrains (CH1) de la Compagnie Générale de Géophysique, la seconde au laboratoire à l'aide du logiciel WINSEV 3.3 de GEOSOFT (Jenny et Borreguero 1999). L'interprétation sur terrain

permet de tracer les grandes lignes de la structure du sous-sol et de choisir l'impact du SEV suivant. La seconde interprétation est réalisée par approximation successive à partir d'un premier modèle en utilisant par exemple la méthode des moindres carrés (Tabbagh 1995 ; Bakkali et Bouyalaoui 2005).

Ceci permet d'estimer la profondeur à laquelle se trouve la formation résistante ainsi que la profondeur de son substratum à la verticale du SEV. Dans certains cas, le SEV ne traverse pas l'ensemble de la couche résistante et le substratum n'est pas atteint. Le calage des résultats de la prospection est fait sur les données géologiques et les données (lithologie et productivité d'eau) des forages et des puits existants (Koussoube et al, 2003).

## 2.4 Cadre Naturel

### 2.4.1 Climat de la région

L'Est algérien est la région la plus variée du pays sur le plan climatique (Mebarki 2009). Schématiquement, les précipitations décroissent du littoral (Nord) vers l'intérieur (Sud) suivant un fort gradient latitudinal. La carte pluviométrique de l'Algérie établie par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H., 1993) montre que les précipitations moyennes annuelles varient entre 1200 mm au Nord près de la cote et 150 mm au Sud sur le flanc méridional de l'Atlas Saharien. La température moyenne annuelle de cette aire, varie entre 17.6 °C au Nord, 13 °C au centre et 21.8°C au Sud (Mebarki 2009).

### 2.4.2 Géologie

La région est caractérisée du Nord au Sud par de nombreuses unités empilées au cours de phases tectoniques successives. (Vila 1980 ; Wildi 1983). Ces unités sont caractérisées par la complexité et la diversité des styles mais aussi par la diversité de la nature des matériaux qui les composent.

- **Le domaine interne** qui comprend le socle cristallin et sa couverture sédimentaire chevauchant les unités les plus méridionales ;
- **Le domaine des nappes des flyschs** composé par les séries du Crétacé inférieur formées par des flyschs grésos-pélitiques et par les séries gréseuses de l'Oligocène;
- **Le domaine externe** constitué par les unités ultratelliennes formées par des marno-calcaires du Crétacé inférieur ;
- **L'avant-pays allochtone** qui se présente sous forme de vastes panneaux du domaine Sud-sétifien à dominance carbonatée du Secondaire, de la nappe néritique constantinoise sous forme de séries carbonatées du Mésozoïque, des formations allochtones de type Sellaoua constituées de marnes et de marno-calcaires du Valanginien-Maestrichtien ;

- **Les formations autochtones et parautochtones** à dominance carbonatée d'une assez grande homogénéité, du Lias au Crétacé moyen.

Cet édifice complexe de l'Algérie du Nord est partiellement effacé par une sédimentation mio-plio-quaternaire essentiellement continentale. Ces terrains post-nappes occupent de vastes espaces entre le méridien de Bordj Bouarréridj à l'Ouest et celui de Tébessa à l'Est.

### 2.4.3 Hydrogéologie

Cette configuration géologique s'est traduite sur le plan hydrogéologique par la présence de deux grands types d'aquifères, le premier à porosité d'interstice, le second à perméabilité de fissure et/ou karstique. Le premier type d'aquifère est facilement accessible à l'aide de puits d'une cinquantaine de mètres de profondeur au maximum alors que le second se trouve à des profondeurs moyennes allant de 100 à 250 m.

Les aquifères superficiels se trouvent dans les plaines côtières et le long des vallées alluviales comme les nappes de la plaine de Annaba, de la vallée du Safsaf, de la vallée du Guebli, du bas-Kébir, de la plaine de Jijel... On retrouve également ces aquifères dans les formations du Mio-plio-quaternaire des Hauts Plateaux qui s'étalent de Sétif à l'Ouest jusqu'à Tébessa à l'Est en passant par Ain Mila, Constantine, Oum El Bouaghi, Sedrata, Khenchela, Ain Baida, Meskiana et Tébessa.

Les aquifères à porosité de fissure et/ou karstiques, se trouvent dans les formations carbonatées comme en témoigne l'émergence de grosses sources, en partie thermales, (Boudoukha et Athamna 2012) avec un débit relativement important comme celles de Ain Roua (55 l/s), Ras El Ain (15 l/s), Hamma Bouziane (700 l/s), Boumerzoug (450 l/s), Hammam Debagh (1650 l/s), Dehamecha (50 l/s), ...). Lors de la réalisation des forages dans ces aquifères, la karstification se manifeste par des pertes importantes de bentonite (Boudoukha 2008).

## 3 RESULTATS ET INTERPRETATION

L'interprétation des données brutes a permis d'aboutir à la résistivité électrique réelle de chacune des formations traversées par le courant.

### 3.1 Formations Conductrices

Les formations conductrices correspondent généralement à des formations imperméables telles que les argiles, les marnes et les formations salées.

- Les argiles quand elles sont humides, elles sont caractérisées par des résistivités de l'ordre de 10  $\Omega$ .m. Fig. 2a. En surface ces argiles sont sèches et peuvent avoir une résistivité de 15 ohm.m. Ce type d'argile se trouve à l'affleurement dans la quasi-totalité des terrains à l'exception de la région de Mila où ces argiles de teinte plus sombre (fort % de matière organique) ont une résistivité de l'ordre de 2  $\Omega$ .m. Fig.

2b. En présence de minéraux évaporitiques (gypse, halite, ...), la résistivité de ces argiles passe de 10-15 ohm.m à 1 Ω.m. Fig. 2c. Donc du point de vue hydrogéologique, l'exécution d'un SEV dans ce type de terrain ne pose aucun problème d'interprétation.

- Les marnes quand elles sont gypseuses, leur résistivité s'égalise avec celle des argiles gypseuses, dans le cas contraire, elles peuvent avoir une résistivité qui varie entre 30 et 40 Ω.m. Fig. 3. Ceci pose un problème d'interprétation là où l'information géologique n'est pas disponible puisque cette fourchette de résistivité traduit également la présence d'une couche de sable argileux qui peut être aquifère. Ces marnes se rencontrent dans toutes les régions.

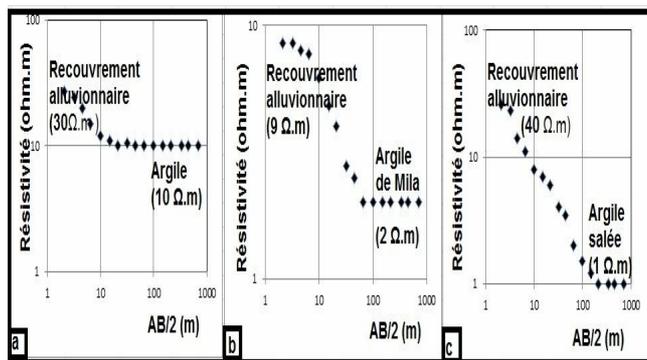


Figure 2:Caractéristiques électriques des argiles et des formations salifères.

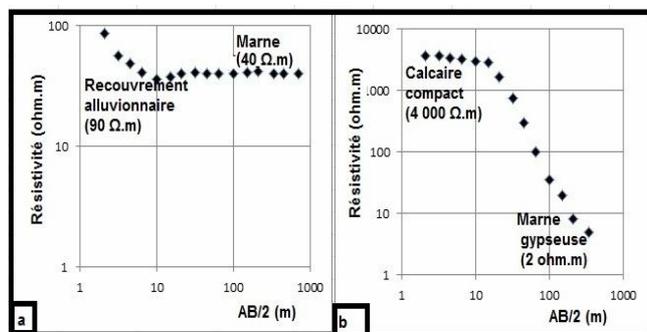


Figure 3:Caractéristiques électriques des marnes et des marnes gypseuses.

Il existe également d'autres formations hydrogéologiques imperméables comme :

- Les schistes qui sont des roches sédimentaires ou faiblement métamorphosées dérivant de sédiments essentiellement argileux. Ces schistes ont une résistivité qui varie entre 60 et 70 Ω.m cas du nord sétifien. Fig. 4a. En profondeur, la mauvaise connaissance de la géologie de la zone prospectée peut induire en erreur, puisque cette fourchette de résistivité peut correspondre à des alluvions grossières ou à des conglomérats qui peuvent être aquifères et fournir de bons débits. Ces terrains quand ils se trouvent à

l'affleurement, le calage des données sur les échantillons de surface, permet de lever cette ambiguïté ;

- Les formations sédimentaires ayant une résistivité apparente > 400 Ω.m comme les calcaires compacts, les grès à ciment siliceux ou calcaire, sont imperméables à cause du faible réseau de fissures qui les affectent, cas de Bensrou à M'sila (Fig. 4c);
- Les formations métamorphiques ou éruptives sont caractérisées par des résistivités apparentes > 5 000 Ω.m. L'absence de fissurations intenses permet de les classer dans la catégorie des formations ayant un faible intérêt hydrogéologique. La présence d'un faible réseau de fissures, permet d'avoir à l'intersection des grandes failles, une faible circulation d'eau. Ces formations se rencontrent surtout le long de la cote, au Nord du pays.

Ces deux dernières catégories de roches, permettent d'aboutir à une courbe du SEV ayant une pente  $\geq 45^\circ$  ce qui facilite l'interprétation hydrogéologique et leur permet d'avoir une résistivité réelle qui tend vers l'infini (Fig. 4b et 4c).

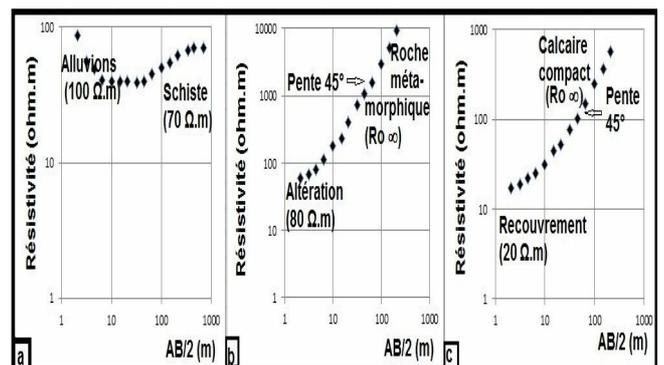


Figure 4:Caractéristiques électriques des formations sédimentaires et métamorphiques imperméables.

### 3.2 Formations Résistantes

Les formations résistantes peuvent être scindées en deux catégories, aquifères et non aquifère.

#### 3.2.1 Formations non aquifères

Ce type de formations se rencontre dans la région de Bir El Ater au Sud de Tébessa, dans la région de Haloufa au Sud-Ouest de Azzaba et à l'Est de Benazzouz dans la wilaya de Skikda. Dans le premier cas il s'agit de sable fin et dans le deuxième cas, il s'agit d'alluvions siliceuses d'origine métamorphique. L'absence de substratum ne permet pas la formation d'un aquifère et l'exécution de forage au droit du SEV a révélé l'absence d'eau souterraine dans ces régions. Ces formations sont caractérisées par des courbes du SEV ayant une terminaison ascendante de pente  $\geq 45^\circ$  ce qui permet de leur affecter une résistivité réelle qui tend vers l'infini (Fig. 5). Ces caractéristiques permettent de lever

toutes ambiguïtés quant à l'interprétation hydrogéologique des données géophysiques.

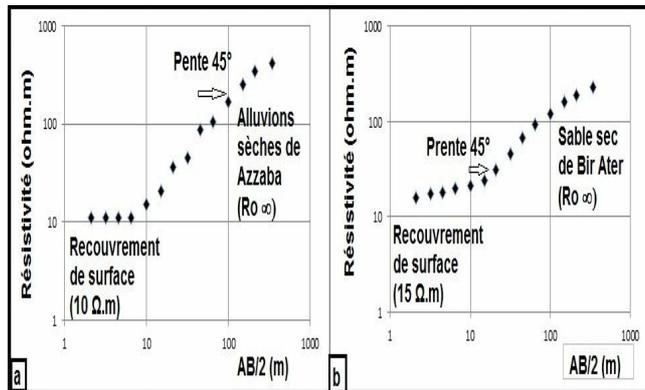


Figure 5: Caractéristiques électriques des formations perméables non aquifères.

### 3.2.2 Formations aquifères

Dans l'Est algérien on rencontre deux types d'aquifères (les aquifères à porosité d'interstice et ceux à perméabilité de fissure et/ou karstifiés).

- Les aquifères à porosité d'interstice se trouvent dans les alluvions de surface ou de subsurface. Ils sont formés par des sables, des alluvions se trouvant parfois mêler à des argiles à pourcentage variable. Ce type de formations est généralement accessible à l'aide de puits de faible profondeur ( $< 50$  m). Les résistivités de ces formations varient entre  $20$  et  $60 \Omega.m$  (Sétif, Tébessa, Oum El Bouaghi, Khenchela, Batna, ...) et peuvent être donc confondues avec des marnes ou des schistes. Fig. 6a. Ces aquifères se rencontrent surtout dans les hautes plaines sétifiennes et constantinoises. Dans la région de Khenguet Sidi Nadji à l'Est de Biskra, les terrains sont légèrement influencés par la salinité et sont donc caractérisés par une résistivité plus faible ( $20$  à  $40 \Omega.m$ ) égale à celle des marnes.
- Les formations du Mio-Plio-Quaternaire au niveau des Hauts plateaux, renferment un niveau de calcaire lacustre à porosité mixte (d'interstice et de cavitation). Ces terrains peuvent passer latéralement à des conglomérats. Dans la région de Sétif, ils sont caractérisés par une grande extension latérale, une épaisseur moyenne de  $50$  m et une résistivité de l'ordre de  $50 \Omega.m$  (Boudoukha et al., 1997) identique à celle des schistes. Fig. 6b.
- Les aquifères sableux côtiers font partis de cette catégorie mais ils sont caractérisés par une résistivité plus faible ( $40 \Omega.m$  à Annaba) égale à celle des marnes à cause de la proximité de la mer. Les embruns marins et l'avancé du biseau salé augmentent le pourcentage de sel ce qui fait chuter la résistivité, ceci ne facilite pas l'interprétation hydrogéologique. Fig. 6c.
- Les aquifères karstiques se trouvent dans les calcaires à partir de  $100$  à  $250$  m de profondeur. La présence de la

karstification et de l'eau permet d'avoir une résistivité moyenne de  $250$  à  $350 \Omega.m$  ce qui ne laisse aucun doute pour l'interprétation hydrogéologique. Fig. 6d.

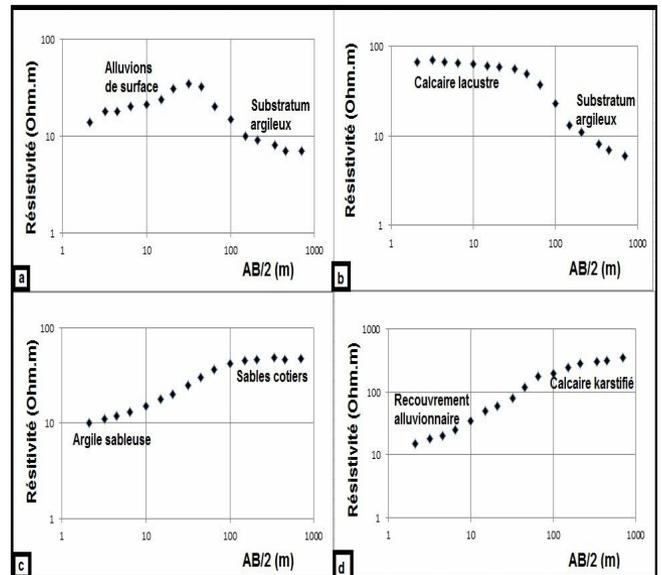


Figure 6: Caractéristiques électriques des formations perméables aquifères.

### 3.2.3 Les formations salées

La présence de formations salées dans le terrain, permet de masquer l'information à cause de l'effet de couverture. Tous les aquifères à eau salée ou en contact avec le Trias salifère, voient leurs résistivités chuter ( $< 5 \Omega.m$ ) et se comporter comme des terrains conducteurs. Ces terrains ont donc un faible intérêt hydrogéologique à cause de la forte salinité de l'eau. Ce type de terrain se rencontre près des lacs salés (Chott et Sebkh) et des pointements triasiques salifères.

On associe à ces formations les aquifères thermaux où le temps de contact eau-roche est assez long pour permettre la dissolution des minéraux qui est accélérée par la forte température du fluide hydrothermal. (Boudoukha et Athamena 2012). Les zones d'émergence de ces sources sont caractérisées par de faibles résistivités ( $< 5 \Omega.m$ ) caractéristiques d'une zone salée.

## 4 CONCLUSION

La superposition de plusieurs phases tectoniques, la complexité et la diversité des styles mais aussi la diversité de la nature des matériaux qui caractérisent les formations du Nord de l'Algérie, confèrent aux différentes couches des épaisseurs et des compositions variables. Cette typologie permet de distinguer trois types de formations hydrogéologiques (impermeable, perméable non aquifère et perméable aquifère). Il est parfois difficile de distinguer la formation perméable aquifère d'une formation impermeable, cas des schistes et des alluvions ou des calcaires lacustres et les marnes, d'une formation perméable

non aquifère d'une formation perméable aquifère, cas des alluvions et des sables secs, et des alluvions et des sables saturés. La présence d'une formation salée peut également masquer la présence d'une formation résistante aquifère en profondeur par effet de couverture. En plus, l'exécution d'un SEV selon une direction perpendiculaire à une faille ouverte, l'espacement entre les deux compartiments de la faille entraîne un écran électrique. Le passage du courant est nul et il est alors impossible d'effectuer des mesures correctes jusqu'à ce que les lignes de courant atteignent la nappe qui ferme alors le circuit électrique (Savado 1984). Cependant, les résistivités <15 ohm.m et >400 ohm.m caractérisent les formations qui n'ont aucun intérêt hydrogéologique, celles comprises entre 15 et 120 ohm.m, peuvent constituer des formations qui peuvent être aquifères, seule une connaissance hydrogéologique de la région peut faciliter la prise de décision. Par contre les résistivités comprises entre 120 et 400 ohm.m correspondent pour ces régions, à de bons aquifères et l'interprétation hydrogéologique se fait sans ambiguïté.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) 1993.** Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 (2 feuilles, une notice de 49 p.), Ministère de l'Équipement, Alger, Ed. I.N.C.
- [2] **Astier L. 1971.** Géophysique appliquée à l'hydrogéologie. Ed. Masson et Cie. Paris.
- [3] **Bakkali, S. et Bouyalaoui, J. 2005.** Essai d'optimisation de la capacité de retenue d'eau d'un lac par caractérisation géophysique du recouvrement argileux. African Journal of Science and Technology. Science and Engineering Series. **6(2)**, 12 – 22.
- [4] **Boudoukha A., Kowalski W. M., Pharisat A. 1997.** Evolution des sédiments lacustres Plio-Villafranchiens des dépressions fermées d'El Eulma. Est algérien. Bulletin de la Société des Sciences Naturelles du Pays Montbéliard, 187-200.
- [5] **Boudoukha A. 1998.** Hydrogéologie des hautes plaines Sétifiennes et hydrochimie des eaux souterraines. Thèse de Doctorat. Département de chimie. Université d'Annaba. Algérie.
- [6] **Boudoukha A. 2008.** Identification des aquifères profonds par la prospection électrique : Application à l'Est algérien. Sc. &Tech. A. **28**, 47-52.
- [7] **Boudoukha A. et Athamna M. 2012.** Caractérisation des eaux thermales de l'ensemble sud sétifien. Est algérien. Revue des Sciences de l'Eau, **25(2)**, 103-119.
- [8] **Brinis N. 2011.** Caractérisation de la salinité d'un complexe aquifère en pays aride – Cas de l'aquifère d'El-Outaya – Région NW de Biskra .ALGERIE. Thèse de Doctorat. Département de Génie Civil et d'hydraulique. Université de Biskra.
- [9] **Demdoum A. 2010.** Etude hydrogéologique de la région d'El Eulma et le problème de la qualité des eaux. Thèse de Doctorat. Département des sciences de la terre. Université de Constantine. Algérie.
- [10] **Gasmi M., Ben dhia H., Andrieux P., Amri F. 2004.** Contribution de la prospection électrique à l'étude hydrogéologique des aquifères dans la plaine de Segui-Sud (Tunisie méridionale). Science et changements planétaires/Sécheresse, **15(2)**, 201-208.
- [11] **Gilli E., Christian Mangan C. et Mudry J. 2004.** Hydrogéologie : Objets, méthodes, applications. Collection: Sciences Sup, Dunod. 2<sup>ème</sup> édition.
- [12] **Jenny J., Borreguero M. 1999.** Interprétation des sondages électriques sous Windows. W-Geosoft, Geotrade S.A Lausanne
- [13] **Khammoudj K. 2009.** Dynamique des systèmes et stratégie d'aménagement et gestion de la ressource en eau en zone semi-aride : cas de la région d'El eulma. W de Sétif. Thèse de Doctorat. Département des sciences de la terre. Université d'Annaba.
- [14] **Koussoubé Y., Nakolendoussé S., Bazie P., Savado A. N. 2003.** Typologie des courbes de sondages électriques verticaux pour la reconnaissance des formations superficielles et leur incidence en hydrogéologie de socle cristallin du Burkina Faso. Sud Sciences & Technologie, **10**, 26-32.
- [15] **Mayer De Stadelhof C. 1992.** Application de la géophysique aux recherches d'eau. Technip Edit. Orléans.
- [16] **Mebarki A. 2009.** Ressources en eau et aménagement en Algérie. Les bassins hydrographiques de l'Est. Office des Publications Universitaires, Algérie.
- [17] **Savado A.N. 1984.** Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute Volta. Etude régionale du bassin versant de la Sissili. Thèse de Doctorat Es-sciences. Université Scientifique et Médicale de Grenoble.
- [18] **Tabbagh A. 1995.** Méthodes électriques et électromagnétiques appliquées à l'archéologie et à l'étude de l'environnement, Revista Fisica de la Tierra, **7**, 161-192.
- [19] **Vila J. M. 1980.** La chaîne alpine d'Algérie orientale et les confins algéros-tunisiens. Thèse de Doctorat. Université Pierre et Marie Curie. Paris VI, France.
- [20] **Wildi W. 1983.** La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Revue de géologie dynamique et de géographie physique, Paris, Masson, **10**, 201-297.