

Prospection Par Methode De Sondages Electrique Au Niveau Du Piedment Du Causse Moyen Atlasique D'el Hajeb-Ifrane (Maroc)

Auteurs: Hmad Bouikbane¹, Mustapha Boualoul¹, Ahmed Benamara².

(1) Laboratoire de Géo-Ingénierie et Environnement, Département de Géologie, Faculté des Sciences de Meknès

(2) Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques d'Er-Rachidia

Abstract: This work is the results of a geophysical study by geoelectric method, 62 electrical soundings of an injection line length of AB=1000m with continuous electrical current, its goal is to identify the main areas fractured by which is performs the preferential flow in depth and subsurface from plateau to plain of Saiss and to have an idea about the geometric of the existing aquifer. After the interpretation of all data of vertical electrical drillings, we exploited to make a quantitative and qualitative interpretation of the results. Indeed we have established apparent resistivity maps, isohypse of the resistant roof, isopaque card of Liassic limestones also geoelectric cuts in correlation with data from existing drilling on the study area

Résumé : Le présent travail fait les résultats d'une étude géophysique par méthode géoélectrique, comporte 62 sondages électriques d'une longueur de ligne d'injection du courant électrique continue AB= 1000m, son but principal est de repérer les grands axes fracturés par lesquels s'effectue la circulation préférentielle des eaux en profondeur et en subsurface, du Causse vers la plaine de Saiss ainsi d'avoir une idée sur la géométrie de l'aquifère existant. Après l'interprétation de l'ensemble des données des sondages électriques verticaux réalisés, nous avons bien y exploités pour faire une interprétation qualitative ainsi quantitative des résultats obtenus. En effet nous avons établis des cartes de résistivités apparentes, d'isohypse du toit du résistant, carte d'isopaque des calcaires liasiques aussi des coupes géoélectrique en corrélation avec des données des forages existants sur la zone d'étude.

Motsclés: Causse du Moyen Atlas, géoélectrique, sondage électrique, résistivité apparente.

Keywords: Causse Middle Atlas, geoelectric, electrical survey, apparent resistivity.

I. Introduction

Le Causse d'El Hajeb-Ifrane, situé au Nord du Maroc (figure 1), s'intègre dans la grande unité structurale du Moyen Atlas tabulaire, constitué par des terrains essentiellement calcaires dolomitiques d'âge Liasique, caractérisés par une forte fracturation et une karstification. Il constitue un réservoir hydrogéologique important au dessus du substratum imperméable formé par les argiles rouges du Trias. Donc pour une meilleure connaissance de la partie avale de notre zone d'étude (zone du piedmont du Causse) du point du vue hydrogéologique et structural, une étude par prospection géophysique utilisant la méthode géoélectrique a été réalisée, elle comporte des sondages électrique verticaux de type Schlumberger et trainés électrique par le dispositif Wenner. Elle a fixée pour objectif la détermination de la géométrie des aquifères existants dans la zone, leur relation structurale avec l'aquifère liasique du Causse et la géométrie du substratum imperméable.

La méthode géoélectrique dite aussi méthode des résistivités est largement utilisée en hydrogéologie tant dans les formations du socle que dans les formations sédimentaires. Son succès est dû au fait que la conductivité des roches est liée à leur contenu en eau. C'est dans ce cadre s'intervient cette étude géophysique comportant 62 sondages électriques verticaux (AB = 1000m) (figure 2).

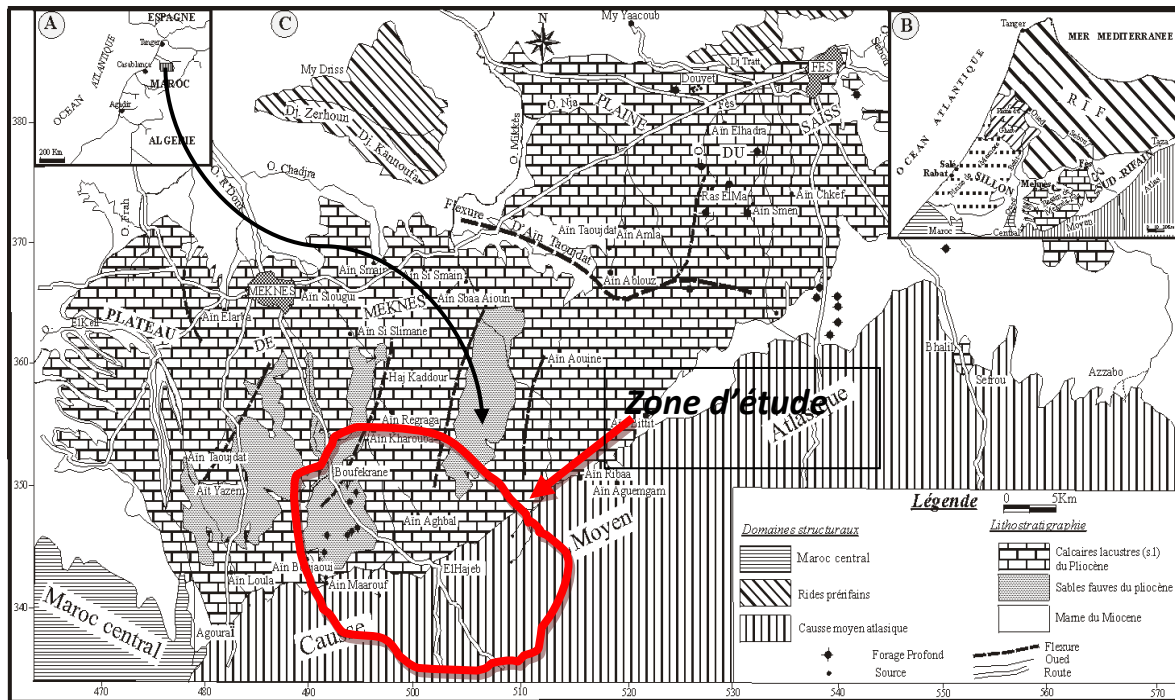


Figure 1 : situation de la zone d'étude

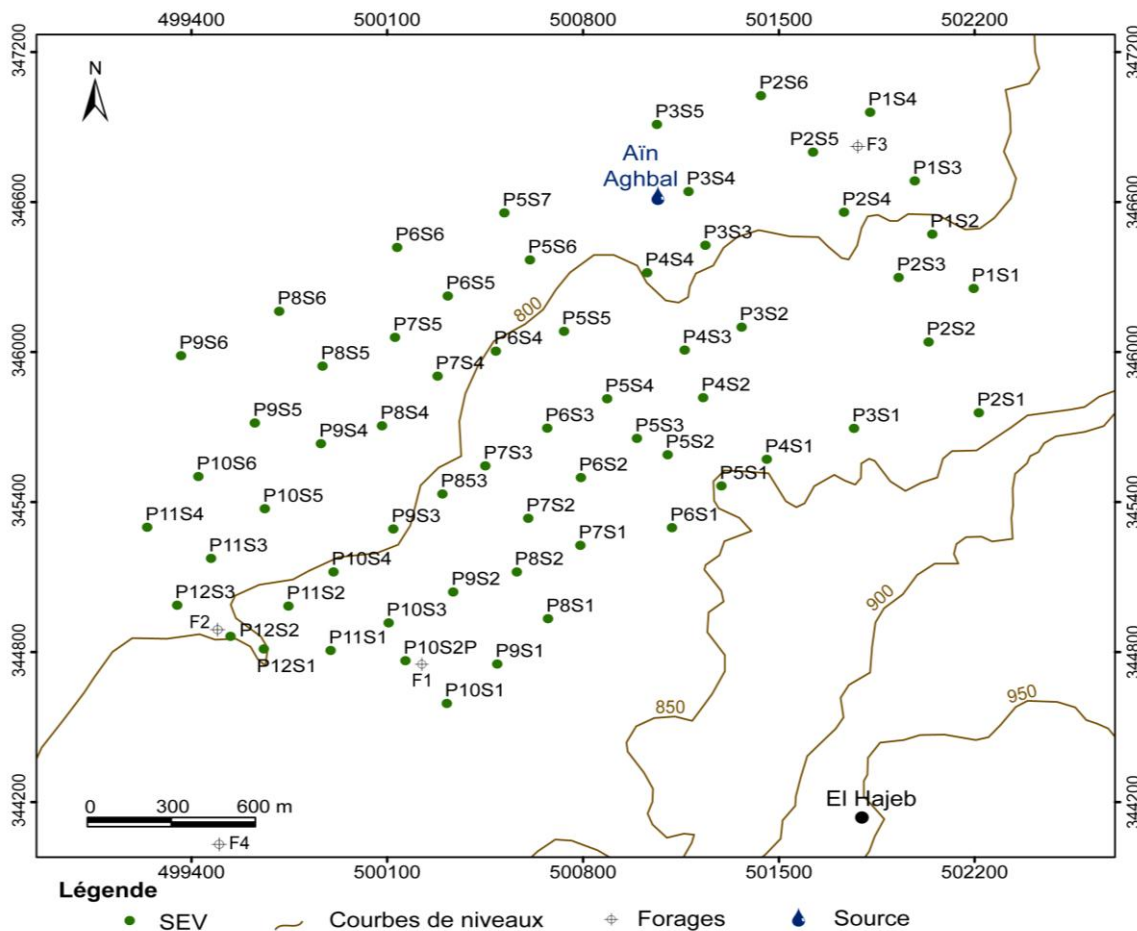


Figure 2 : Plan de situation des sondages électriques réalisés dans la zone d'étude

II. Discussion Des Resultats

2.1- Classification des sondages électriques

Le traitement et l'analyse des sondages électriques a permis de ressortir trois types de familles en se basant sur la forme de la courbe des sondages et la succession des niveaux résistants et conducteurs.

2.1.1- Famille de type I représentée par le sondage P6S1

La courbe des sondages électriques de cette famille représentée ci-dessous (figure 3), elle représente une succession des niveaux résistants et niveaux conducteurs en allant du haut vers le bas.

La courbe commence par un complexe hétérogène constitué par des niveaux résistants et conducteurs correspond aux formations plio-quaternaire d'une épaisseur d'environ 18m et une résistivité électrique variable de 9 à 100 ohm.m, ces formations correspondent à des argiles, sables et calcaires lacustres, d'après les données géologiques locales ainsi des coupes d'eau existants sur place ;

Un niveau très résistant (Rc) d'une épaisseur d'environ 30m et une résistivité électrique de l'ordre de 117 ohm.m, il est correspond éventuellement aux calcaires liasique ;

Un niveau conducteur intermédiaire (NCI) correspond à un niveau supérieur des argiles rouges triasique, d'une épaisseur de l'ordre de 30m et une résistivité électrique de 52 ohm.m ;

ensuite un terrain résistant (NRP) d'une résistivité électrique de 145 ohm.m et une épaisseur en moyen de 60m, ce niveau peut attribuer aux formations basaltiques

Et se termine par un niveau conducteur profond (NCP) d'une résistivité électrique de l'ordre de 20 ohm.m, qui peut correspondre à un niveau inférieur des argiles rouges du Trias.

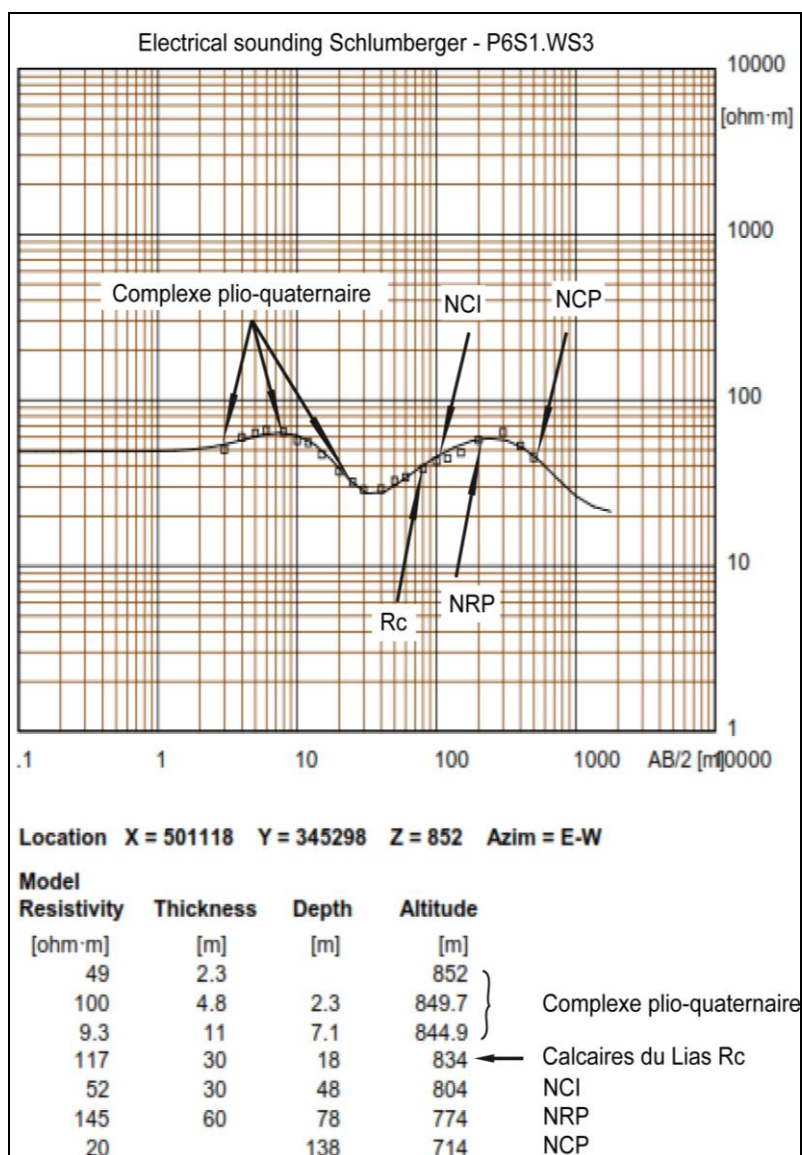


Figure 3 : sondage électrique P6S1 représentatif de la famille type I

2.1.2- Famille de type II représentée par le sondage P6S4

Le traitement de la courbe de sondage (figure 4) permet de mettre en évidence les niveaux suivants : Comme indiqué sur la famille précédente, il est commencé par un complexe constitué de niveaux conducteurs et résistant correspond également aux formations plio-quadernaires (argiles, sables, agiles sableuses..etc) ;Suivi d'un niveau conducteur supérieur (NCS) d'une résistivité de 13 ohm.m et une épaisseur de 6m d'environ, correspond éventuellement aux formations marneuses ;En fin il se termine par une alternance de niveaux résistants et conducteurs, correspondent aux calcaires du lias (Rc) et argiles triasique (NCI) et se termine par un niveau résistant qui peut être attribué aux formations basaltiques du Trias (NRP) dont le toit est situé à 89m de profondeur.

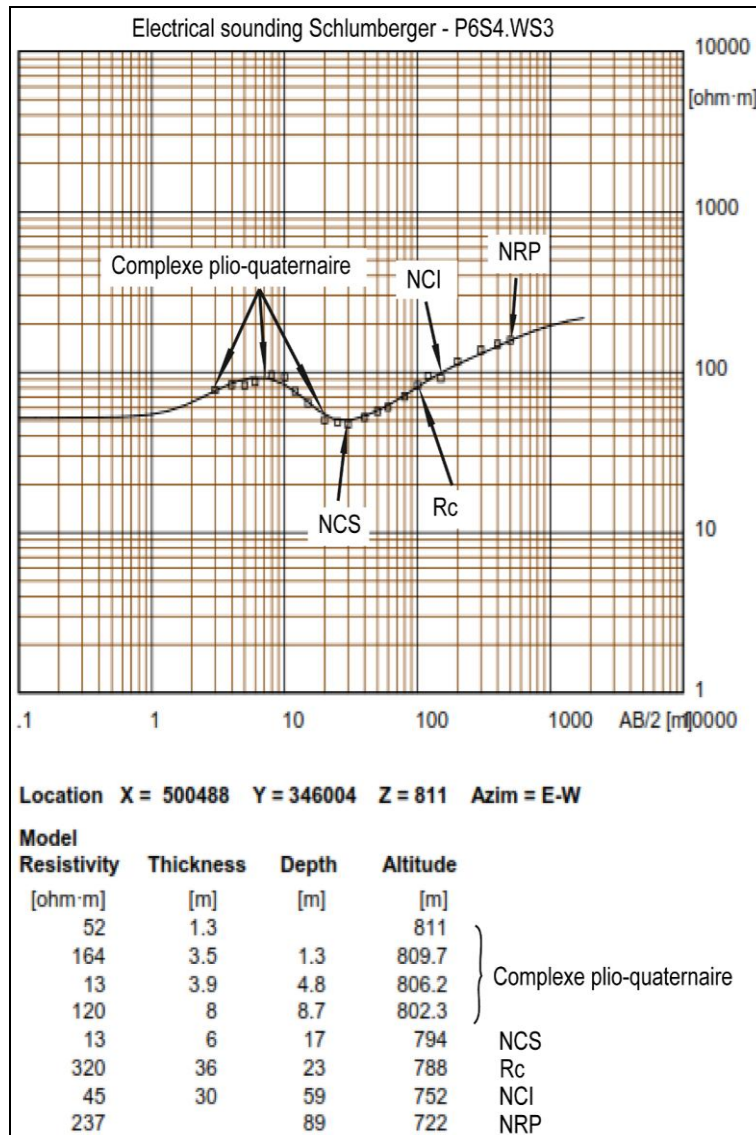


Figure 4 : Sondage électrique P6S4 représentatif de la famille type II

2.1.3- Famille de type III

Le sondage suivant (figure 5) montre du haut vers le bas la succession suivante :Toujours la présence d'un ensemble hétérogène constitué de niveaux conducteurs et résistants d'âge plio-quadernaires (argiles, sables, agiles sableuses..etc) ;En suite un niveau conducteur d'une résistivité de 8 ohm.m et une épaisseur de 15m d'environ, qui correspond aux marnes grises du Miocène (NCS);

Le sondage électrique se termine par une branche ascendante constituée par alternance de niveaux résistants et conducteurs, correspondant respectivement aux calcaires du Lias (Rc), aux argiles triasiques (NCI) puis un niveau résistant (NRP) attribué aux formations basaltiques du Trias d'une résistivité de l'ordre de 160 Ohm.m et en fin un niveau conducteur (NCP) attribué aux argiles inférieures du Trias d'une résistivité de l'ordre de 40 Ohm.m situées à 130m de profondeur.

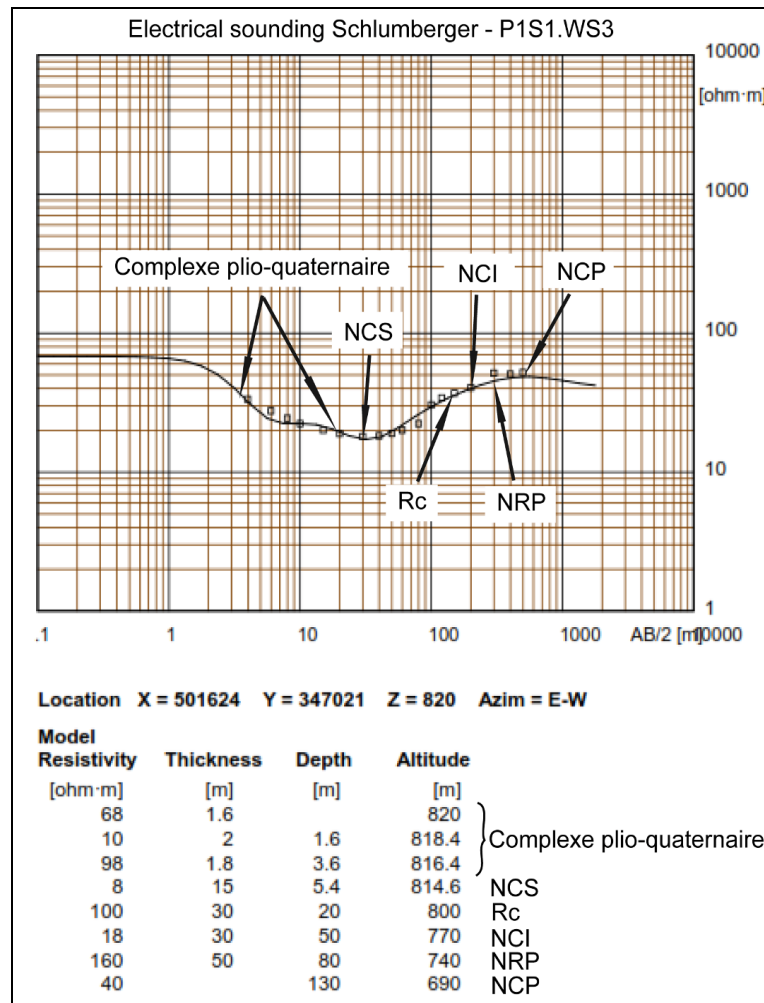


Figure 5 : Sondage électrique P1S1 représentatif de la famille type III

2.2- Interprétation qualitative

Les résultats des sondages électriques verticaux réalisés dans la zone d'étude, ont permis l'établissement d'un ensemble de cartes de résistivités apparentes, elles représentent des documents importants qui nous donnent une idée sur la variation latérale de la résistivité apparente à une section du terrain prospecté. Les cartes de résistivité apparente établies correspondent respectivement aux écarts de AB suivants AB=200m, AB=400m et AB=1000m

2.2.1- Carte de résistivité apparente pour AB=200m

La carte de résistivité apparente présentée ci-dessous (figure 6) pour un écartement AB=200m, correspond à une profondeur d'investigation d'environ 30m. Donc l'analyse de cette carte nous a permis de distinguer les zones suivantes : Des zones résistantes ($\rho_a \geq 100$ Ohm.m), elles se répartissent aux alentours des sondages suivants, P3S4, P8S5, P9S4, P9S5, P9S2, P10S2P et P10S3, ainsi qu'au voisinage de la source Ain Aghbal. Cette augmentation de la résistivité électrique reflète la présence des terrains très résistants correspondant aux formations du plio-quaternaire, et éventuellement aux formations calcaires du Lias comme près de la source.

Des zones relativement conductrices ($\rho_a \leq 40$ Ohm.m), situées au Sud ouest de la zone prospectée. Cette diminution de la résistivité électrique est fort probablement due à la présence des terrains argileux du Trias qui sont subaffleurons dans ce secteur. Des zones de résistivités intermédiaires ($50 \leq \rho_a \leq 100$ Ohm.m), elles occupent des places étendues au niveau de la zone prospectée et correspondent aux passages intermédiaires entre les formations calcaires résistantes et les formations argileuses.

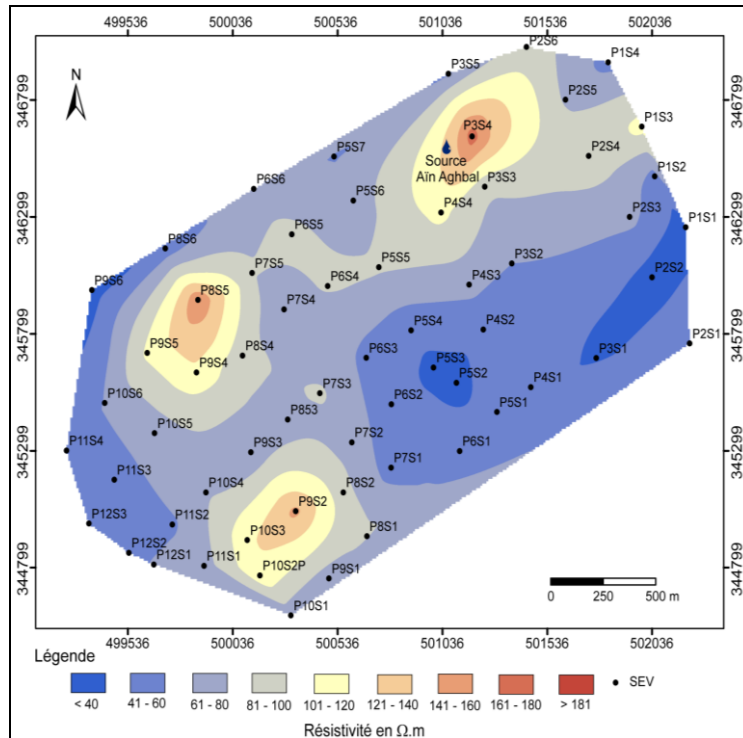


Figure 6: Carte de résistivités apparentes au niveau du piedmont du Causse d'El hajeb (AB=200m)

2.2.2- Carte de résistivité apparente pour AB=400m

Elle est établie à partir des sondages électriques de longueurs de ligne AB=400m (figure 7), l'écart AB devient important, et la carte nous donne assez d'informations sur la distribution des résistivités apparentes des terrains profonds (environ 80 à 100m). Les résultats de la carte de la figure 7, nous renseignent sur l'existence d'un couloir résistant de direction SW-NE, il atteint le maximum de résistivité au niveau de la source Ain Aghbal ($\rho_a = 200 \text{ Ohm.m}$) et aussi au niveau du sondage électrique P10S3. De part et d'autre de ce couloir, les résistivités diminuent en allant vers le Sud est et le Nord ouest. Vers le Sud est, cette diminution est en rapport avec la remontée des argiles rouges du Trias, alors que vers le Nord ouest, elle est en rapport avec l'approfondissement des calcaires du Lias sous les marnes grises du Miocène.

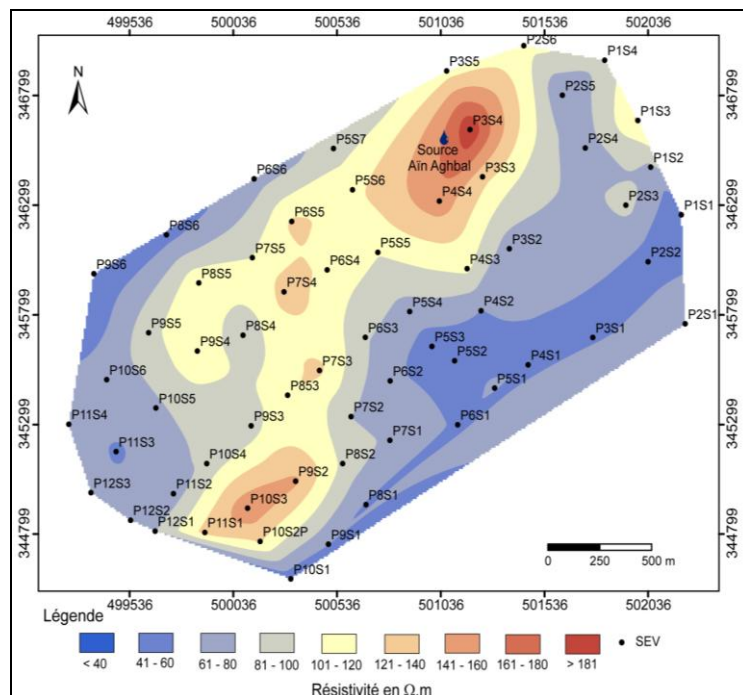


Figure 7: Carte de résistivités apparentes au niveau du piedmont du Causse d'El hajeb (AB = 400m)

2.2.3- Carte de résistivité apparente pour AB=1000m

La carte présentée ci-dessous (figure 8), montre qu'on est plus profondément par rapport aux précédentes, elle montre que le couloir résistant réduit plus en allant vers le nord est au voisinage de la source ain Aghbal, il atteint une résistivité de l'ordre maximum de 250 ohm.m, ces terrain résistants peuvent correspondre et selon les données lithologiques des forages existants à des formations basaltiques du trias. Pour le reste de la zone prospecté on constate la présence des terrains conducteurs au SE et à l'ouest de la zone d'étude, ce qui témoigne qu'on est on présence des terrains conducteurs tels que les argiles rouges du trias.

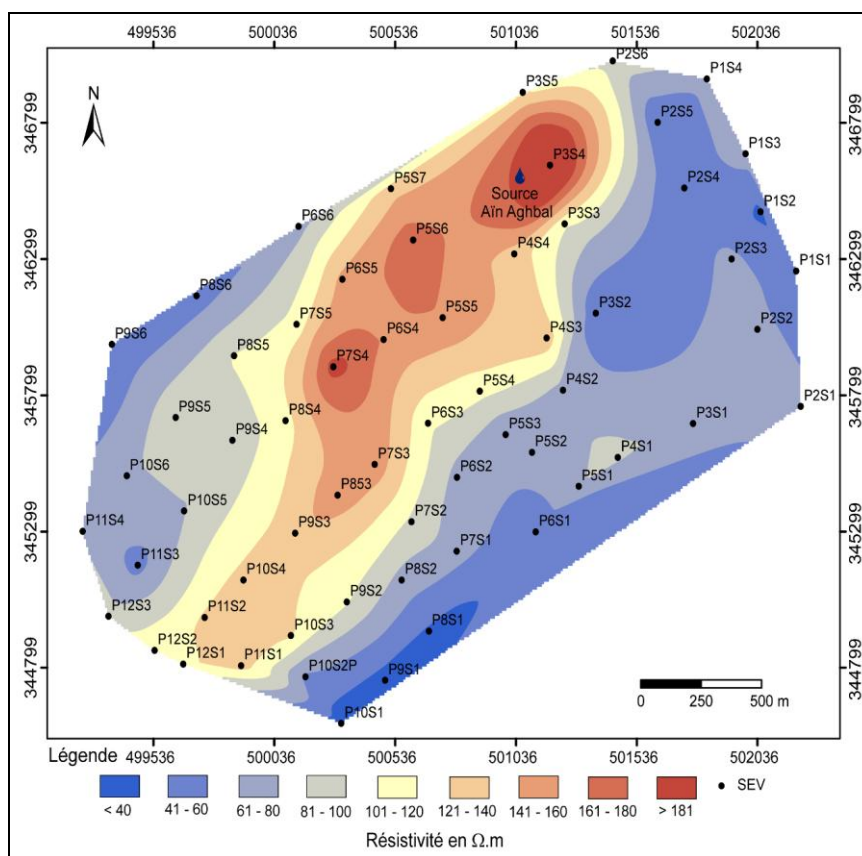


Figure 8 : Carte des résistivités apparentes au niveau du piedmont du Causse d'El Hajeb (AB=1000m)

2.3 - Interprétation quantitative

2.3-1- Carte isohypse du toit du Rs

L'altitude du toit du niveau des calcaires du Lias au droit de chaque sondage électrique permet de tracer une carte des isohypses. La carte fait ressortir d'une manière générale le comportement du toit du Lias, qui plonge graduellement du Sud est vers le Nord ouest, et parfois il est exagéré par l'effet de la présence de discontinuités géophysiques. Selon l'analyse de la carte synthétique la zone prospectée pourrait subdiviser en trois zones principales (figure 9):

Une zone notée CI, elle est situés vers le Sud de la zone prospectée, elle est caractérisée par une variation d'altitude de toit des calcaires du Lias entre 800 à 830m environ. L'altitude du toit est maximale entre les profils P1 jusqu'à P6, puis elle montre une petite dépression entre les profils P7 et P8 avec une diminution plus ou moins importante qui est de l'ordre de 800m, et en suite au niveau des derniers profils P9 et P10, l'altitude du toit est devenue maximale (830m);

Une zone notée CII, intercalée au centre de la zone prospectée, le toit du Lias montre une légère variation à partir du Sud vers le Nord, elle atteint un maximale vers le Sud de la zone avec des valeurs d'environ 790m et un minimale vers le Nord qui ne dépasse pas 667m, mais à l'exception des sondages électriques P10S5, P10S6 et P11S4, l'altitude du toit a diminué jusqu'à environ de 750m.

Une zone CIII localisée vers l'extrémité Nord, limitée à l'Ouest par le profil P8, elle est caractérisée par un enfoncement du niveau des calcaires liasiques (Rc), son altitude varie entre un maximale de 766m au Sud et minimale 745m vers le Nord.

La connaissance du comportement de la structure des calcaires liasiques constituant l'aquifère principale au niveau de la zone prospecté, permet de mieux cerner les relations hydrauliques entre les différentes entités hydrogéologiques locales.

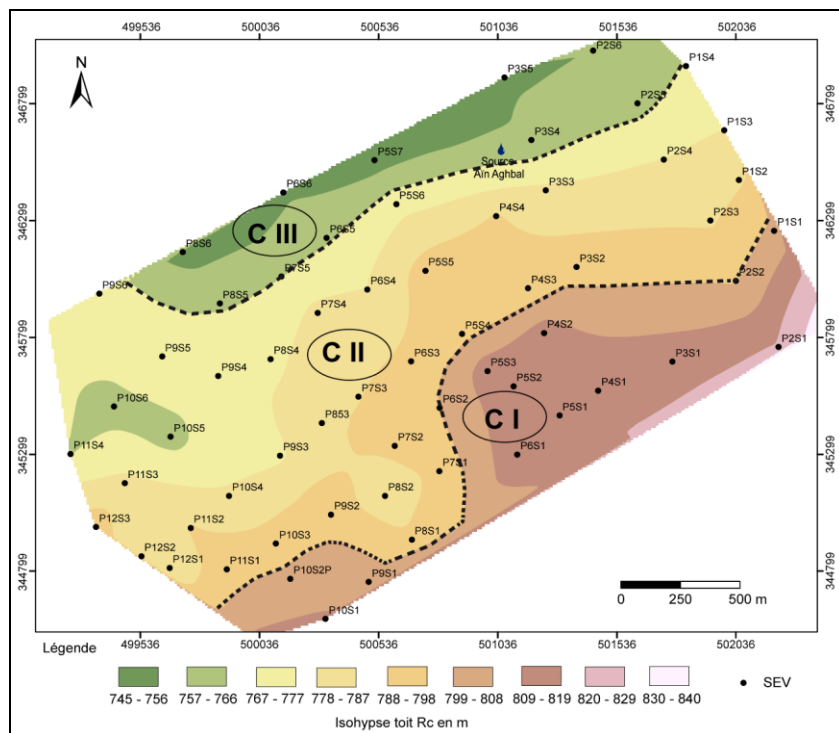


Figure 9: Carte isohypse du toit du résistant Rc

2.3-2- Carte des isopaques du niveau Rc

Les cartes des isopaques sont établies à partir des résultats de l'interprétation quantitative des sondages électriques elles représentent la distribution des épaisseurs du niveau prospecté. La détermination de l'épaisseur des calcaires liasiques (Rc), à partir des sondages électriques est basée essentiellement sur des corrélations possibles entre les sondages d'étalonnage réalisés au voisinage des forages mécaniques, les logs lithologiques de ces forages et l'analyse des horizons électriques L'examen de la carte des isopaques (figure 10); montre que les valeurs de l'épaisseur des formations calcaires du Lias varient entre 10 et 73m. En effet la zone d'étude présente des épaisseurs relativement moyennes (25 à 50m) à l'exception de quelques sondages au Sud ouest et au Nord est où l'épaisseur est faible (<20m).

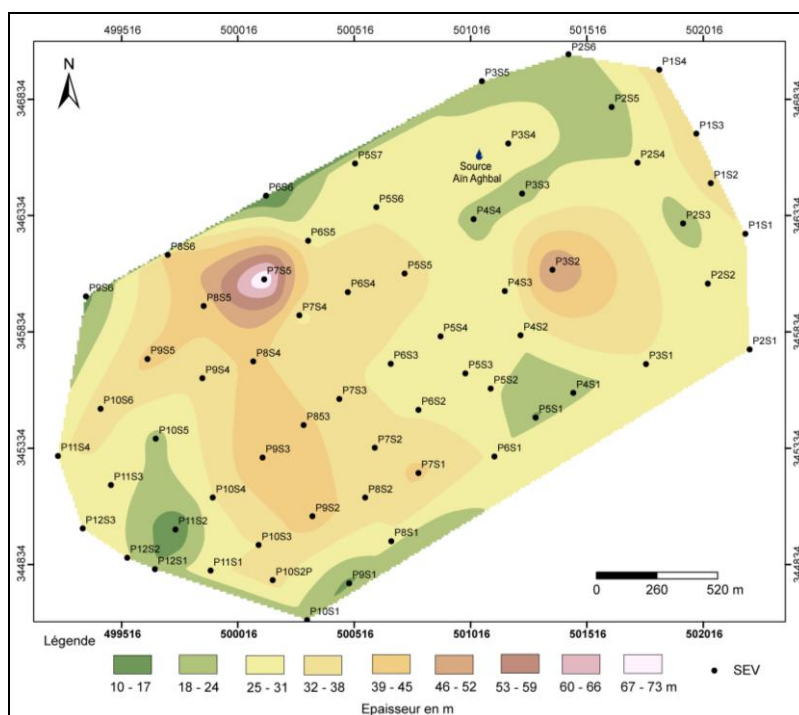


Figure 10 : la carte des isopaques du résistant Rc

2.3.3- Coupes géoélectriques

L'importance des coupes géoélectriques dans une étude géoélectrique est primordiale, car elles nous donner une visualisation générale de la structure géologique de la zone prospectée à fin d'aboutir à une reconstitution paléogéographique et bien comprendre l'ensemble des accidents tectoniques qui 'ont affectés les terrains. Dans ce but nous avons réalisé onze coupes géoélectrique selon une direction NNW-SSE (Figure), et par la suite, nous allons choisir d'une façon représentative quatre coupes à savoir coupe n°1, 03, 06 et n°09.

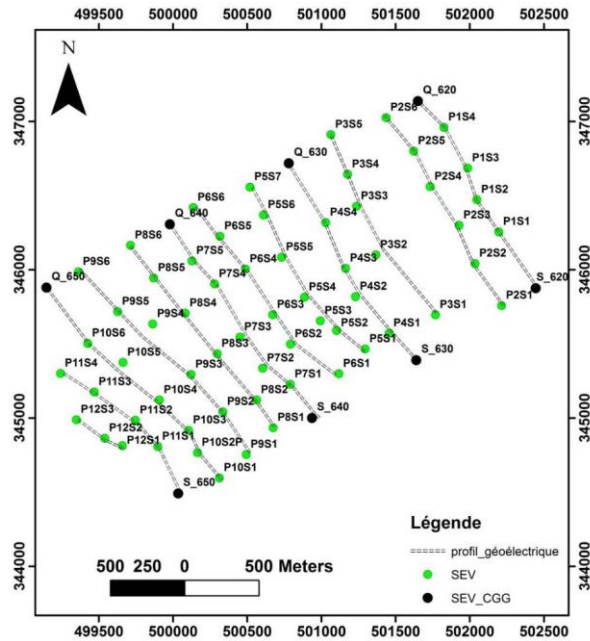


Figure 11 : Situation des coupes géoélectrique réalisées dans la zone d'étude

2.3.3-1 Coupe géoélectrique du profil n°1

Elle regroupe les sondages électriques réalisés au niveau du profil P1 situé à l'Est de la zone d'étude. Elle relie les sondages électriques S_620 et Q_620 réalisés lors d'ancienne étude (CGG).La coupe obtenue (Figure 11), montre que les formations rencontrées s'enfoncent du Sud vers le Nord. Pour les formations calcaires résistantes du Lias, la valeur de résistivité électrique varie de 500 Ohm.m au niveau du Sondage électrique S_620 à 170 Ohm.m au niveau du sondage électrique Q_620. Cette coupe à été corrélée au forage N IRE 1557/22 dont la coupe lithologique est donnée au **Error! Reference source not found.** L'épaisseur du complexe plio-quadernaire augmente en direction du Nord.La présence des argiles rouges inférieures du Trias d'une résistivité électrique entre 40 Ohm.m à 20 Ohm.m est observée entre les sondages électriques P1S1 et P1S4. Ceci témoigne de l'existence de discontinuités qui ont conduit à la remontée des argiles inférieures au niveau du sondage S_620 et leur affaissement au niveau du sondage Q_620.

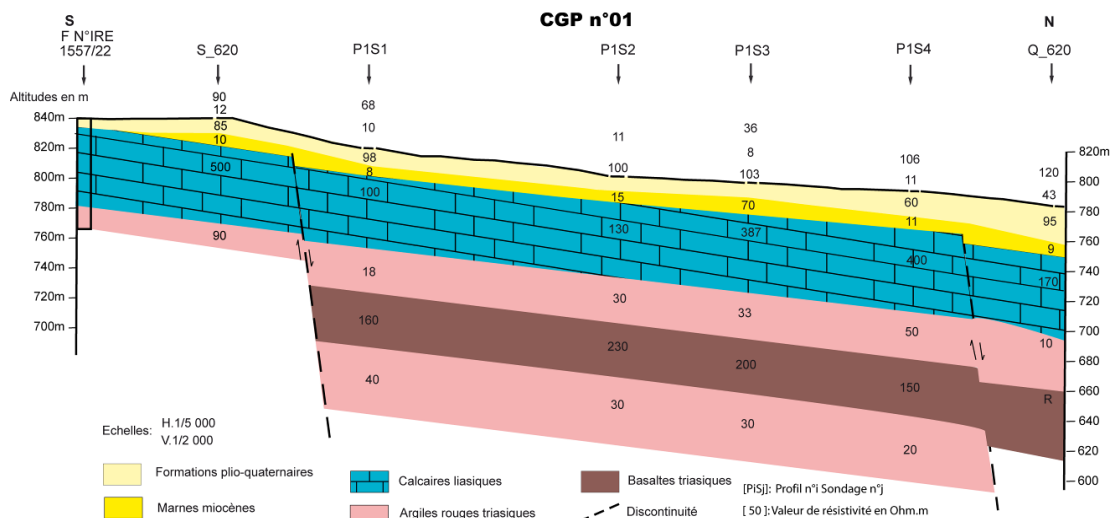


Figure 11 : Coupe géoélectrique du profil n°1

Tableau n°1 : La coupe lithologique du forage N°IRE 1557/22:

Profondeur en m	Lithologie
De 00 à 04	Terre végétale+limons
De 04 à 60	Calcaires du Lias
De 60 à 76	Argiles rouges du Trias

2.3.3.2- Coupe géoélectrique du profil n°3

A partir de la coupe géoélectrique de la figure 13, nous avons observé une variation plus moins de l'épaisseur des terrains en allant du P3S1 jusqu'au P3S5 ; cette variation de l'épaisseur est bien accentuée par la mise en évidence d'un certains nombre de discontinuités géophysique entre les sondages P3S3 et P3S4, et aussi entre P3S4 et P3S5. La première discontinuité remarquée a mis en évidence un compartiment surélevé situé vers le Sud entre les sondages P3S1 et P3S3, et un autre compartiment affaissé vers le Nord entre les sondages P3S3 et P3S4. Plus en allant vers le Nord on se trouve aussi devant une deuxième discontinuité électrique qui peut matérialiser éventuellement une faille, elle a joué en mettant en contact des couches de nature différentes. Le compartiment situé entre P3S4 et P3S5 a été surélevé par cette éventuelle faille. Ceci témoigne qu'on est probablement sur une zone fracturée en horst et graben qui pourrait être à l'origine de drainage de la source Ain Aghbal situé approximativement au voisinage du profil P3.

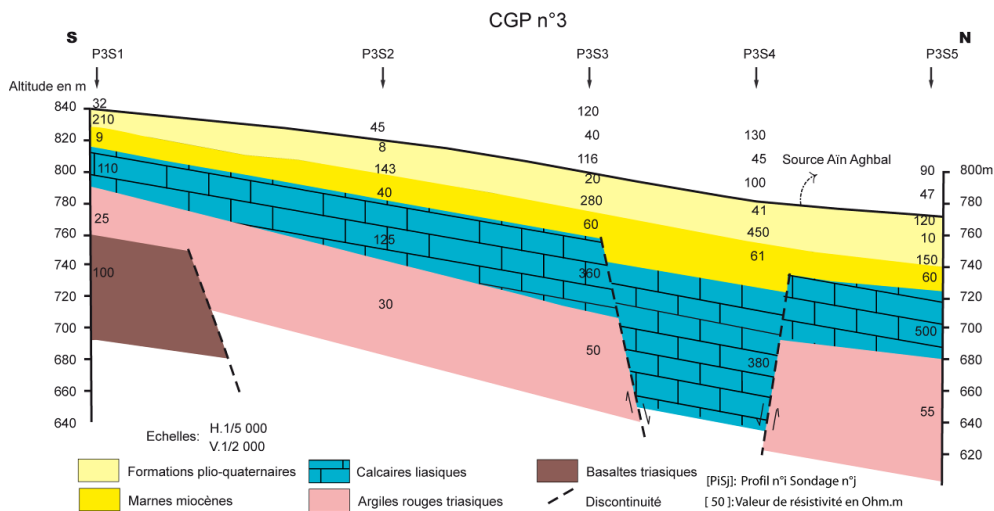


Figure 13 : Coupe géoélectrique du profil n°03

2.3.3.3- Coupe géoélectrique du profil n°6

La coupe géoélectrique CGP 06 (Figure 1) montre un plongement des structures du Sud vers le Nord; L'épaisseur des marnes miocènes est très faible par rapport à celle du plio-quaternaires ; Le niveau des calcaires liasiques présentent des résistivités allant de 120 à 360 ohm.m, son épaisseur est presque constante du Sud vers le Nord ;Aucune discontinuité géoélectrique n'a été mise en évidence sur cette coupe.

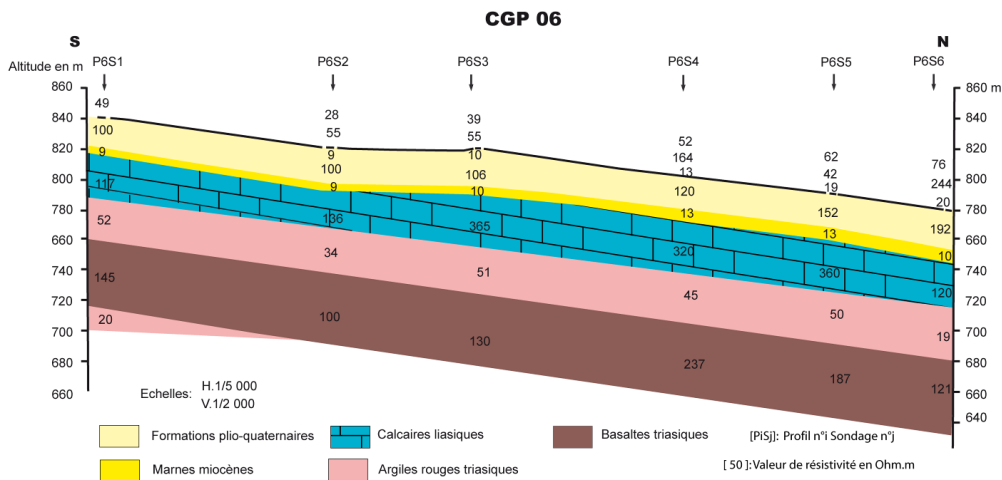


Figure 14 : Coupe géoélectrique du profil n°6

L'analyse de l'ensemble des cartes et coupes géoélectriques établis précédemment a montré l'existence d'un ensemble de discontinuités géophysiques au niveau de la zone prospectée.

III. Conclusion Générale

Le Causse d'El Hajeb-Ifrane (Maroc), situé au Nord-Ouest du Moyen Atlas tabulaire, est constitué essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomitiques du Lias inférieur et moyen, favorisant un réservoir hydrogéologique important au dessus du substratum imperméable formé d'argiles rouges du Trias. Ces eaux souterraines d'origine karstique jouent un rôle décisif aussi bien pour l'alimentation en eau potable des villes de Meknès et Fès que pour l'irrigation des terrains agricoles du bassin de Saïss. Les structures géologiques rencontrées plongent généralement du Sud vers le Nord avec parfois la présence de certaines discontinuités géophysiques, permettant la perturbation de ce plongement par la création de horsts et grabens; Le complexe hétérogène mis en évidence en surface, est attribué aux formations d'âge plio-quadernaires (sables, argiles, calcaires lacustres et grès); Les formations conductrices rencontrées, correspondant soit aux marnes du Miocène (NCS), comme ils pourraient être attribuées éventuellement aux formations argileuses triasiques (NCI et NCP); La présence aussi des formations résistantes, reflétant la présence parfois des formations calcaires du Lias (Rc) et parfois la présence des basaltes du Trias (NRP);

Bibliographie

- [1]. **Al-Fares, W., (2002)**. Caractérisation des milieux aquifères karstiques et fracturés par différentes méthodes géophysiques. Thèse de Doctorat, Univ. Montpellier II, 226p.
- [2]. **AMRAOUI, F. (2005)**. Contribution à la connaissance des aquifères karstiques: Cas du Lias de la plaine du Saïss et du Causse Moyen Atlasique tabulaire (Maroc). Thèse d'Etat en Hydrogéologie.
- [3]. **Bakalowicz, M. (1999)** : Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques, SDAGE Rhône-Méditerranée- Corse. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée- Corse, Lyon, 40p
- [4]. **Boualoul M. (2008)**. Contribution of geophysics to structural recognition and prospecting groundwater in the Guelmim plain, Bas Draa basin, Morocco. MAPG First International conference and Exhibition, Marrakech.
- [6]. **Bouikbane H., Boualoul M., Benamara A., Sahbi H., (2014)**. Apport de l'outil SIG et de la géophysique dans l'identification du transfert des eaux souterraines entre l'aquifère liasique du Causse d'El Hajeb et la plaine de Saïss (Maroc). 2eme édition du Colloque international des utilisateurs du SIG, Meknès les 20 et 21 novembre 2014.
- [7]. **CAG, (1982)**. Compagne Africain de la Géophysique, 1982 : Etude par prospection électrique des formations du bassin de Saïss (MAROC), rap,ined.
- [8]. **Colo (1961)**. Contribution à l'étude du Jurassique du Moyen-Atlas septentrional. Notes et M. Serv. géol. Maroc, n° 139.226 pp. 28.
- [9]. **Dresnay R. et Suter G. (1972-1975)**. Carte géologique du Maroc aux 1/100 000 feuilles El Hajeb. Notes et M. Serv. géol. Maroc n° 160.
- [10]. **ESSAHLAOUI A., (2000)**. Contribution à la reconnaissance des formations aquifères dans le bassin de Meknès- Fès (Maroc). Prospection géoélectrique, étude hydrogéologique et inventaire des ressources en eau. Thèse pour l'obtention du doctorat en Sciences Appliquées, Ecole Mohammadia des ingénieurs, Rabat. Maroc, 258p.
- [11]. **Gouasmia, M., Gasmî, M., Mhamdi, A., Bourî, S., Ben Dhia, H. (2006)**. Prospection géoélectrique pour l'étude de l'aquifère thermal des calcaires récifaux Hmeïma-Boujabeur (centre ouest de tunisie). C. R. Geoscience 338 (2006) 1219-1227.
- [12]. **Hacini Y., Marescot L. & Chapellier D., (2005)**. Caractérisation hydrogéophysique d'un aquifère poreux complexe avec les méthodes électriques et les digraphies. Cas du site test de Kappelen. Actes du 5ème Colloque GEOFCAN. Orléans, France.