



## Application of the electrical resistivities method to the characterization of the aquifer system in the region of Ouaouizeght, central High Atlas (Morocco).

I. Boutirame<sup>\*1</sup>, A. Boukdir<sup>1</sup>, M. Boualoul<sup>2</sup>, A. Elissami<sup>3</sup>, H. Ikhmerdi<sup>1</sup>, L. Alili<sup>1</sup>

<sup>[1]</sup> Laboratoire Génie industriel, faculté des sciences et techniques, Université Sultan Moulay Slimane, BP: 523, 23000 Béni Mellal, Maroc

<sup>[2]</sup> Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail, BP : 11201 Zitoune, Meknès, Maroc.

<sup>[3]</sup> Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable (ONEE), Rabat, Maroc.

\*Corresponding Author: Tel.: +212659696250; e-mail: ikrame.geol@gmail.com

A Geoelectrical prospecting has been carried out in the region of Ouaouizeght which is part of central High Atlas. The purpose of this exploration is to identify the potential aquifers and determine their geometry and their structure in order to understand their hydrogeological function.

Forty geoelectrical surveys have been achieved in the study area. The interpretation of the results has allowed identifying three aquifers attributed to formations of the middle and lower Jurassic. These aquifers present an asymmetric syncline structure and a strong depression at the axial region corresponding to the center of the syncline of Ouaouizeght.

Received: 18 October 2016

Accepted: 30 November 2016

Available online: 11 December 2016

### Keywords:

Geoelectrical prospecting  
Geoelectrical surveys  
Aquifers  
Region of Ouaouizeght  
Central High Atlas

## Introduction

Dans les chaînes montagneuses du Haut Atlas central où se situe la région d'Ouaouizeght, les besoins en eau sont assurés par l'apport de la nappe phréatique qui s'écoule dans les formations du Crétacé et les dépôts quaternaires. Il s'agit d'une nappe secondaire, contrairement à celle qui circule dans les formations calcaires et dolomitiques du Jurassique moyen et inférieur dont le potentiel hydrogéologique est qualifié d'important pouvant assurer en toute sécurité un approvisionnement régulier en eau potable des agglomérations rurales de la zone d'étude qui souffraient des problèmes de pénurie d'eau.

C'est dans ce contexte que nous avons entrepris la présente étude qui consiste en une prospection géophysique par la méthode des sondages électriques verticaux (SEV) de la région d'Ouaouizeght dont les résultats obtenus ont été combinés avec les données géologiques et hydrogéologiques afin de discerner

la structure du système aquifère et de déterminer sa géométrie et son extension latérale et verticale (Essahlaoui 2000, Boukdir 2007) permettant ainsi de comprendre le fonctionnement hydrogéologique du dit système (zone de recharge, décharge, écoulement souterrain...) et par conséquent orienter les futures campagnes de prospection hydrogéologique vers les zones les plus fructueuses.

## Description de la zone d'étude

La zone d'étude dite synclinal d'Ouaouizeght fait partie du bassin hydrogéologique du Haut Atlas calcaire, elle s'étend sur une superficie de 1062 Km<sup>2</sup>. Elle est limitée par la transversale Marrakech-Ouarzazate à l'Ouest, la vallée de l'Oued Ziz à l'Est, la chaîne du Moyen Atlas au Nord et au Sud par l'accident Sud atlasique qui le sépare du couloir d'Ouarzazate-Boudnib (Fig1).

La zone d'étude se caractérise par un climat semi-aride, méditerranéen à influence océanique, avec une concentration des précipitations en automne et en hiver [1]. Ce climat est marqué par une forte évaporation et des températures moyennes élevées avec des écarts mensuels et journaliers importants [1].

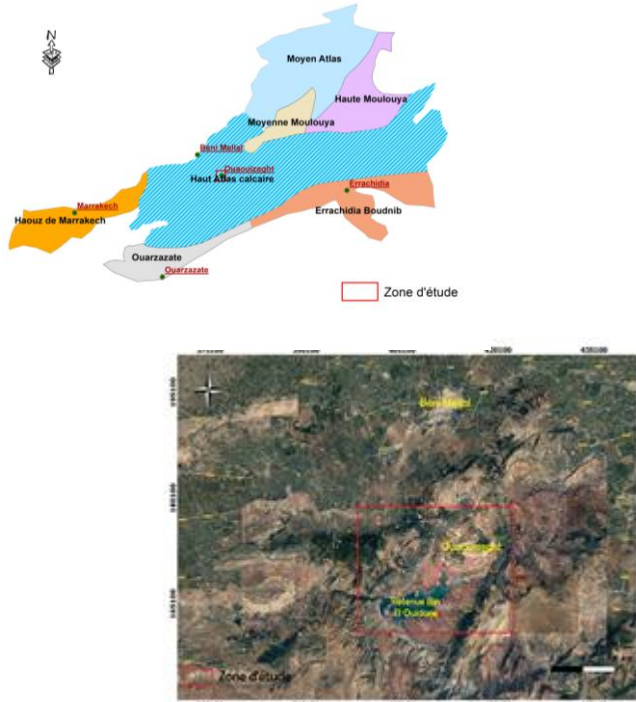


Fig. 1: Situation de la zone d'étude.

Sur le plan géologique, la zone d'étude fait partie du Haut Atlas calcaire. Il s'agit d'un grand bassin à géométrie rectangulaire allongé selon une direction ENE-WSW [1-4-11]. Ce bassin est décrit comme un ensemble de petits bassins, à géométrie synforme et à fonds large et plats, séparés par des reliefs surélevés à géométrie antiforme [1-2-11]. Les formations géologiques qui affleurent au niveau de la zone d'étude sont (Fig. 2 et 3) :

- La formation du Jbel Sidal, constituée d'un ensemble détritique grossier supérieur à niveaux lenticulaires conglomératiques avec des coulées basaltiques interstratifiées au niveau des couches rouges. Elle date du Barrémien Supérieur-Aptien inférieur [4-11] ;
- Des séries d'âge Crétacé constituées principalement par des formations carbonatées, dolomitiques et marneuses et des couches rouges lagunaires, sur lesquelles est bâti le centre d'Ouaouizeght [4-11] ;
- La formation des Louaridène du Jurassique moyen (Bathonien), constituée de deux membres. Le membre inférieur est formé par des pélites et marnes rouges violacées à rouges orangées, avec des bancs indurés de

grès fins, à toit présentant des fentes de dessiccation et parfois des traces de Dinosaures. Le membre supérieur est plus argileux et brun, à intercalation dolomitiques. Au niveau du synclinal d'Ouaouizeght, ce membre supérieur présente d'importantes assises gypseuses [4-11].

- La formation des Guettioua, formée de grès, pélites gréseuses, silts de couleur rouge brique et conglomérats intra-formationnels. Elle correspond à des dépôts de plaine alluviale à deltaïque, à chenaux fluviatiles [4-11].

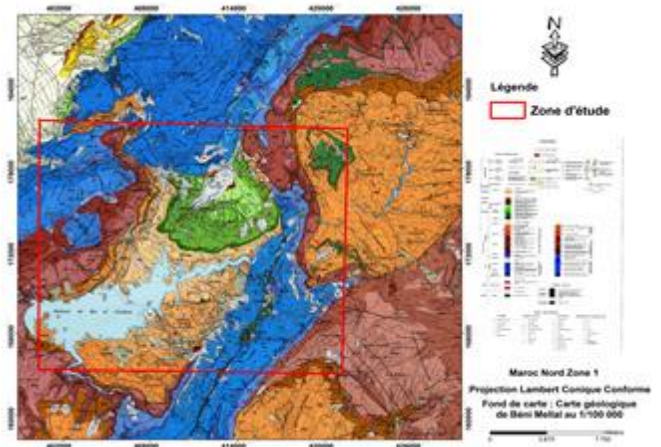


Fig. 2 : Carte géologique de la zone d'étude (extrait de la carte géologique de Beni Mellal au 1/100 000).

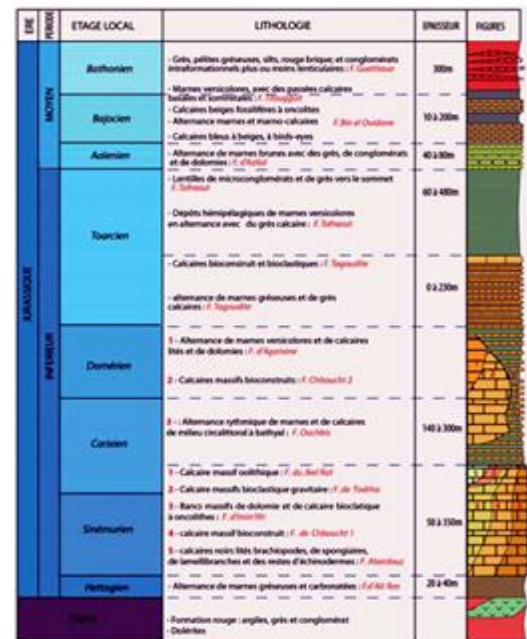


Fig. 3 : Log stratigraphique des formations jurassiques de la zone d'étude.

Le secteur d'étude fait partie intégrante du Haut Atlas Central. Son histoire est donc intimement liée à celle de cette chaîne qui correspond à une chaîne de montagnes intracontinentale, résultant de l'inversion structurale d'un bassin essentiellement jurassique. La structure géologique montre une succession d'anticlinaux et de synclinaux avec une tectonique cassante illustrée par de nombreuses failles de directions variables. Au Jurassique, le bassin du Haut Atlas central est constitué de sous-bassins subsidés sur décrochements senestres, séparés par des rides anticlinales synsédimentaires [1-2-10-11].

Dans le synclinal d'Ouaouizeght, les ressources en souterraine s'écoulent au niveau de deux réservoirs principaux :

- La nappe phréatique du Quaternaire : constitué par les poudingues, les graviers et les galets, en relation avec les alluvions des lits actuels des oueds [1]. Les poudingues qui forment généralement le fond des bassins quaternaires, constituent la roche réservoir, principale de la nappe phréatique. En outre, c'est par eux que s'opèrent les échanges (drainance) avec les aquifères profonds du Jurassique moyen et inférieur.
- Les nappes profondes du Jurassique : Il s'agit de trois niveaux aquifères logeant dans les formations du Jurassique moyen et inférieur. Les deux premières nappes circulent dans les terrains carbonatés fissurés et karstiques du Dogger (calcaire d'Aalénien et Bajocien). Le substratum de ces nappes est constitué par les marnes du Toarcien-Aalénien inférieur qui correspond au toit du troisième réservoir aquifère du Lias inférieur qui forme un système relativement continu et un large réseau fissuré qui se comporte comme un karst dans les zones tabulaires [1]. Le faciès de cet étage est représenté par des calcaires et des dolomies. Les valeurs de transmissivité de l'aquifère du Lias inférieur-Domérien varient de 1.7 à 6.3 m<sup>2</sup>/s [1]. Les débits des ouvrages oscillent entre 0.1 et 120l/s [1].

## Matériels et méthodes

La prospection géophysique par sondage électrique est la méthode la plus utilisée en hydrogéologie et la recherche des eaux souterraines [5-6-7], elle constitue l'un des outils de prospection le mieux approprié et le bien adapté [3-6-12]. Son principe est basé sur l'injection d'un courant électrique  $I$  dans le sol à travers deux électrodes A et B et la mesure de la différence du potentiel  $\Delta V$  entre deux autres électrodes M et N dits électrodes de mesure [5-6-7].

Pour le dispositif Schlumberger utilisé dans le cadre de ce travail, les électrodes de mesure M et N sont immobiles au centre du dispositif et on fait varier l'écart entre les électrodes d'injection de courant A et B [5-7-8-10-12]. On obtient ainsi un

sondage de la résistivité en profondeur sous le centre du dispositif (Fig.4).

La résistivité électrique apparente est calculée par la relation suivante [5-7-8-10-12] :

$$\rho_a = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \times \frac{\Delta V}{I}$$

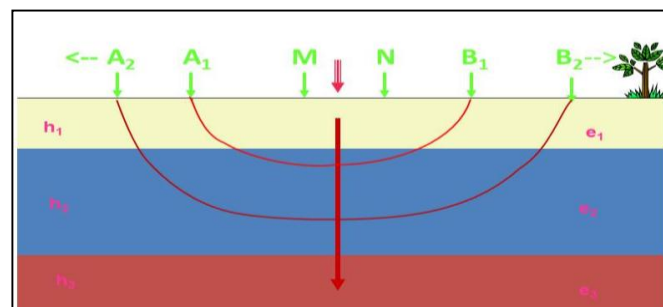


Fig. 4 : Principe du sondage électrique vertical (SEV).

Les mesures géophysiques récoltées sur le terrain ont été mesurées par un résistivimètre GRM 3000. Un total de quarante sondages électriques verticaux (40 SEV) qui monte la distribution suivante (Fig. 5) :

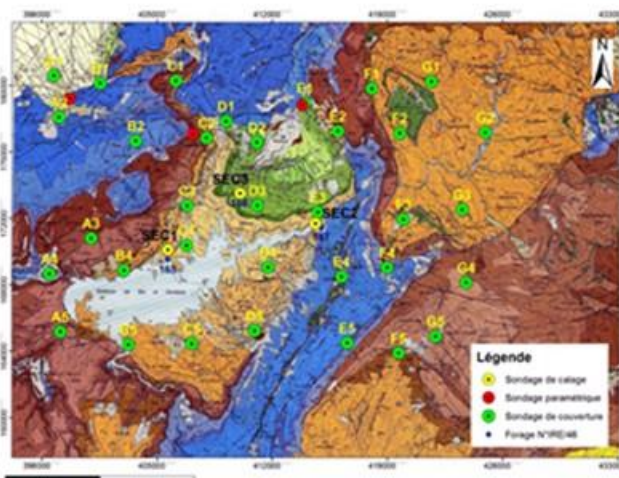
- 34 sondage électriques de couverture réalisés sur un maillage d'environ 4Km×4km ;
- 3 sondages électriques de calage exécutés à proximité des forages (N°IRE) réalisés dans la zone d'étude ;
- 3 sondages électriques paramétriques effectués sur les affleurements des formations géologiques (formations du Crétacé et du Jurassique).

Les 34 sondages de couverture ont été répartis sur 7 profils de 5 sondages électriques selon un maillage de 4Km×4Km (Tab 1). Ce maillage n'a pas été respecté totalement sur toute la zone d'étude vu les difficultés et les obstacles rencontrés lors de réalisation des mesures électriques sur le terrain (terrain accidenté, clôtures des fermes, oueds...).

Tab 1: Répartition des sondages électriques de couverture par profil.

Profil	Sondage électrique
Profil A	A1, A2, A3, A4 et A5
Profil B	B1, B2, B4 et B5
Profil C	C1, C2, C3, C4 et C5
Profil D	D1, D2, D3, D4 et D5
Profil E	E1, E2, E3, E4 et E5
Profil F	F1, F2, F3, F4 et F5
Profil G	G1, G2, G3, A4 et G5





**Fig. 5 :** Situation des sondages électriques réalisés dans la zone d'étude (extrait de la carte géologique de Béni Mellal 1/100000).

## Résultats et discussion

Les mesures des résistivités électriques récoltées sur le terrain ont été représentées sous forme des diagrammes où l'on porte en abscisse la demi longueur de AB, et en ordonnée la valeur de la résistivité apparente correspondante, avec une échelle bilogarithmique [3-5-7]. Ces mesures ont été traitées par le logiciel **WinSEV 6** de Géo-Soft [6-8], permettant de déterminer une succession verticale des niveaux électriques. Le calage de ces résultats par des forages existants dont on connaît la coupe lithologique permet de relier la lithologie des terrains traversés par ces forages aux niveaux électriques décelés lors de la décomposition effectuée par ce logiciel et de déterminer par la suite les résistivités vraies des terrains auscultés ainsi que leurs épaisseurs.

Dans notre cas, l'étude comparée des couches lithologiques mises en évidence par les forages de calage (forages N°IRE 165/46, 167/46 et 168/46) avec les horizons décelés sur les diagrammes des sondages électriques, a permis d'établir les corrélations géoélectriques suivantes :

### ➤ **Sondage électrique N°IRE 168/46 :**

Ce sondage électrique a été réalisé sur le forage N° IRE 168/46. Il montre une hétérogénéité des formations géologiques aussi bien superficielles que profondes. Les résistivités électriques de ces formations varient entre 14 Ohm.m et 500 Ohm.m. Ce sondage électrique a permis de déceler un premier niveau résistant situé à 126 m de profondeur et qui correspond selon la coupe géologique du forage à des calcaires marneux. Ce dernier est surmonté par une épaisse couche conductrice constituée par des argiles rouges et des marno-calcaires (Fig. 6). La courbe électrique se termine par un horizon résistant d'une résistivité électrique de 500 Ohm.m, surmonté par un conducteur de 143 m d'épaisseur attribué à des marnes et des

argiles rouges. Ce niveau résistant correspond fort probablement à des calcaires beiges du Bajocien (Tab 2).

### ➤ **Sondage électrique N°IRE 167/46 :**

Ce sondage électrique a été réalisé sur les affleurements des formations argilo-marneuses du Bathonien qui entourent la retenue du barrage de Bin El Ouidane. Les résistivités électriques des formations décelées oscillent entre 8 Ohm.m et 300 Ohm.m (Fig. 7).

L'analyse de la courbe électrique (évolution de la résistivité électrique apparente  $\rho_a$  en fonction de la demi-longueur  $AB/2$  du dispositif de mesure) de ce sondage a permis de déceler l'existence d'un substratum résistant profond  $R_p$  d'une résistivité électrique de l'ordre de 500 Ohm.m et d'une couverture composée d'une succession de terrains conducteurs et résistants (Tab 3).

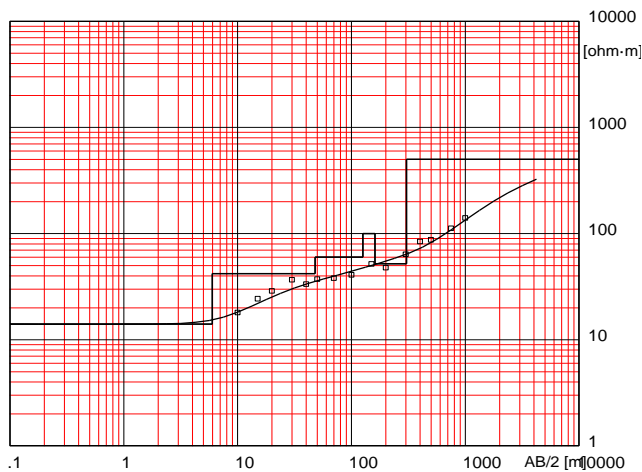
Les trois niveaux aquifères relevées R1, R2 et  $R_p$  sont respectivement attribués à des formations calcaires et dolomitiques du Jurassique moyen et inférieur (Dogger et Lias).

**Tab 2:**Caractéristiques géoélectriques du sondage N°IRE 168/46.

Niveau électrique	Résistivité (Ohm.m)	Epaisseur (m)	Cote du toit (m)	Corrélation géoélectrique
<b>C<sub>0</sub></b>	14-60	126	883	Agiles rouge+ marno-calcaires
<b>R<sub>0</sub></b>	100	35	757	Calcaires marneux
<b>C<sub>1</sub></b>	52	143	722	Marno-calcaire+argile rouge+gypse
<b>R<sub>1</sub></b>	500	-	579	Calcaire beige

**Tab 3:**Caractéristiques géoélectriques du sondage N°IRE 167/46.

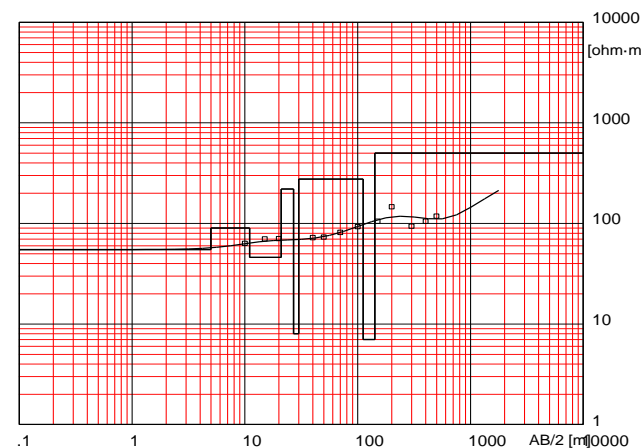
Niveau électrique	Résistivité (Ohm.m)	Epaisseur (m)	Cote du toit (m)	Corrélation géoélectrique
<b>C<sub>1</sub></b>	55-46	21	863	Agiles rouge+Argiles rouges gréseuses
<b>R<sub>1</sub></b>	220	6	842	Dolomies grises
<b>C<sub>2</sub></b>	8	3	836	Argiles rouges
<b>R<sub>2</sub></b>	276	82	833	Calcaire grisâtre+ Calcaire beige
<b>C<sub>p</sub></b>	7	30	751	Marne du Toarcien
<b>R<sub>p</sub></b>	500	-	721	Calcaire du Lias inférieur



Location X = 410051 Y = 173492 Z = 883 Azim = N 45°

Model Resistivity [ohm-m]	Thickness [m]	Depth [m]	Altitude [m]
14	6	6	883
42	42	6	877
60	78	48	835
100	35	126	757
52	143	161	722
500		304	579

**Fig.6 :** Courbe de résistivité électrique du sondage électrique N°IRE 168/46.



Location X = 414642 Y = 171671 Z = 863 Azim = N 115°

Model Resistivity [ohm-m]	Thickness [m]	Depth [m]	Altitude [m]
55	5	5	863
90	6	5	858
46	10	11	852
220	6	21	842
8	3	27	836
276	82	30	833
7	30	112	751
500		142	721

**Fig.7 :** Courbe de résistivité électrique du sondage électrique N°IRE 167/46.

Afin de visualiser de manière claire la structure et les variations latérale et verticale des formations aquifères décelées dans la

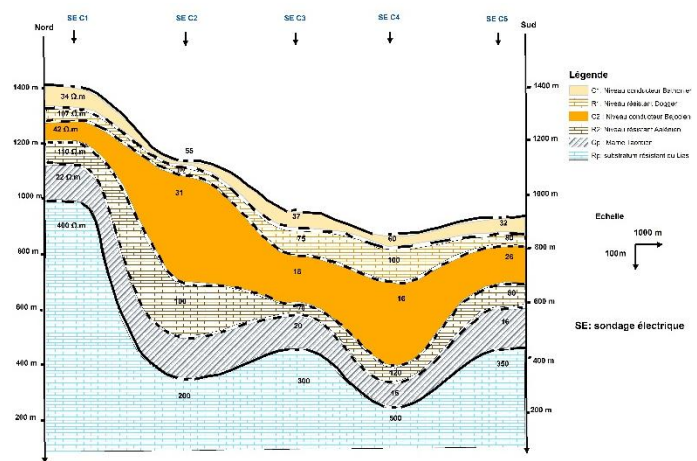
zone d'étude (notées R1, R2 et Rp), les résultats de la prospection géophysique ont été exploités sous forme des coupes et des cartes dites géoélectriques [3].

### ➤ Coupes géoélectriques

#### ▪ De direction Nord-Sud

Une coupe géoélectrique de direction Nord-Sud a été réalisée sur une longueur d'environ de 17 Km traversant les sondages électriques du profil C (SE C1, SE C2, SE C3, SE C4 et SE C5). Le toit des trois niveaux aquifères R1, R2 et Rp présentent une structure ondulatoire tout au long de la coupe (**Fig.8**).

Le niveau résistant profond Rp attribué à des formations calcaires du Lias inférieur, est surmonté par un niveau conducteur (marne du Toarcien), dont l'épaisseur varie entre 35m et 120m, et sa résistivité varie entre 16 Ohm.m et 22 Ohm.m.



**Fig.8 :** Coupe géoélectrique de direction Nord-Sud.

#### ▪ De direction Ouest-Est

Une deuxième coupe de direction Ouest-Est a été réalisée sur une longueur d'environ 19 Km. Elle commence à partir des affleurements des calcaires beiges du Bajocien (aquifère R1) à l'Ouest, en passant par les sondages réalisés sur les affleurements du Cénomaniens (Crétacé) ; elle se termine à l'Est par les affleurements des formations du Bathonien (Jurassique moyen).

L'analyse de cette coupe a permis de dégager les points suivants (**Fig. 9**) :

- Le niveau résistant R1 présente une forte dépression au niveau du sondage électrique D3. la recharge naturelle de cet aquifère R1 se fait au niveau d'affleurement des calcaires beiges du Bajocien à l'Ouest du sondage électrique C3.

- Le toit du substratum résistant Rp est surmonté par un niveau conducteur (Toarcien) dont l'épaisseur est maximale au niveau du sondage électrique G3 (de l'ordre de 150m) et minimale au sondage électrique D3 (de l'ordre de 45 m) ;
- Une discontinuité électrique s'est révélée à l'Ouest du sondage électrique C3 au niveau du contact du niveau résistant R1 avec les formations conductrices du Bathonien. Cette discontinuité pourrait être interprétée en termes de faille de direction Nord-Sud.

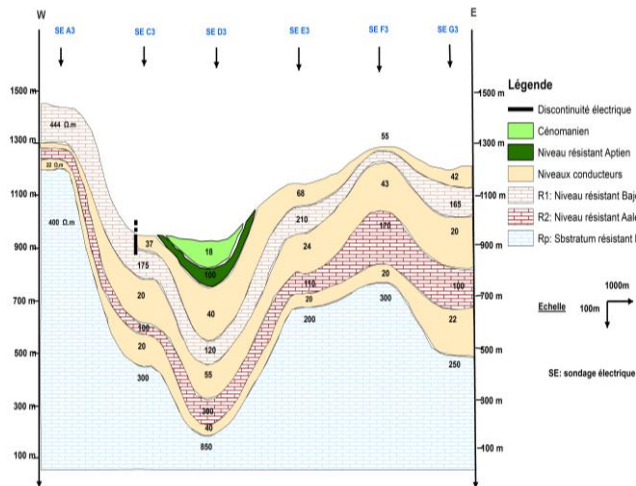


Fig.9 : Coupe géoélectrique de direction West-Est.

#### ■ De direction NW-SE

Cette coupe a été réalisée sur une longueur de 13 Km (**Figure 10**), en passant par quelques sondages électriques implantés sur les affleurements du Cénomanien (centre rural d'Ouaouizeght), sur les affleurements du Bathonien au Nord-Ouest et à l'extrémité Sud-Est sur les affleurements des calcaires du Dogger (sondage électrique G5).

Les deux niveaux résistants R1 et R2 montrent un léger épaissement en allant du Nord-Ouest vers le Sud-Est (entre les sondages électriques C1 et E3). Leur épaisseur varie respectivement entre 40 m et 100m et entre 30m et 85m.

Le toit du niveau conducteur du Bathonien montre un enfouissement en allant vers le sondage électrique D2 (centre du synclinal d'Ouaouizeght), ensuite il affleure à l'Ouest du sondage électrique E3.

Le toit du niveau résistant profond (Rp) présente une structure ondulatoire et une remontée en allant de Nord-Ouest vers le Sud-Est. Ce niveau enregistre une résistivité électrique variable; elle oscille entre 200 à 800 Ohm.m.

#### ➤ Cartes géoélectriques

A partir des valeurs des épaisseurs et des altitudes des toits des niveaux aquifères décelés sur les diagrammes des sondages électriques réalisés, on a élaboré les cartes des isopaques et des isohypses présentées ci-dessous :

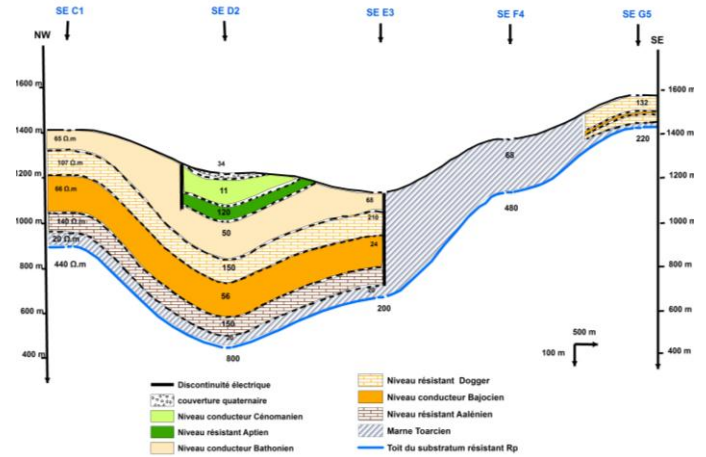


Fig.10 : coupe géoélectrique de direction NW-SE.

#### - Carte des isopaques :

Nous présentons ci-dessous les cartes des isopaques des aquifères R1 et R2 attribués respectivement à des calcaires du Bajocien et d'Aalénien (Jurassique moyen).

L'épaisseur de l'aquifère R1 varie entre 20 m et plus de 200m. Sa puissance maximale est observée dans la partie extrême Nord-Ouest et au centre de la zone d'étude, alors que les faibles épaisseurs (épaisseur  $\leq 40$ m) se répartissent au Sud et à l'extrémité Nord-Est de la zone d'étude (**Fig. 11**).

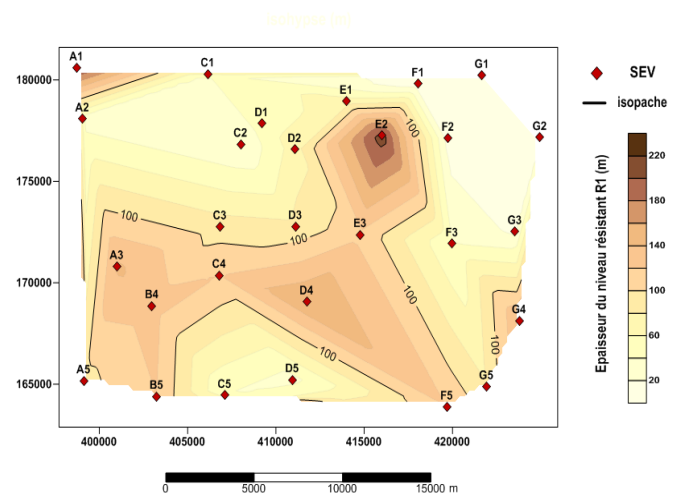


Fig.11: Carte des isopaques du niveau aquifère R1.

La carte des isopaques du deuxième niveau aquifère R2 (aquifère d'Aalénien) a permis de mettre en évidence deux zones différentes : la première située au Nord-Ouest et au Sud-Est de la zone d'étude qui présente des épaisseurs faibles à moyennes (comprises entre 10 m et 100m) et une deuxième zone située à l'extrémité Nord-Est et Sud-Ouest où les épaisseurs dépassent 150m (Fig.12).

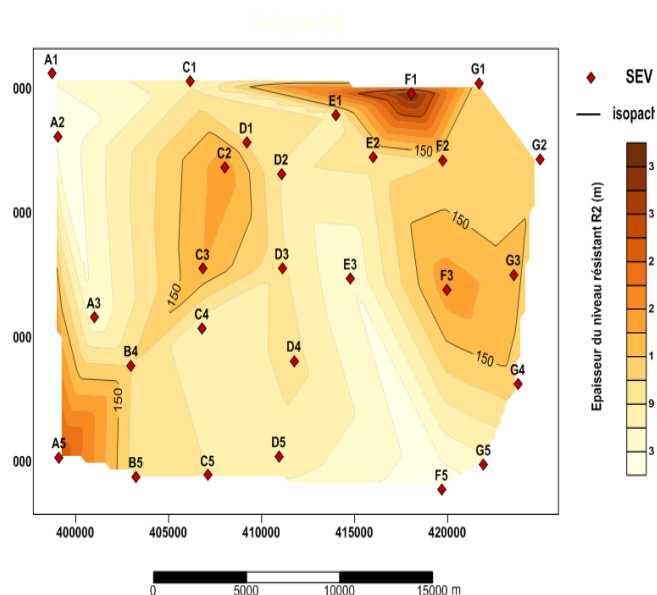


Fig.12 : Carte des isopaques du niveau aquifère R2.

#### - Carte des isohypses

Ces cartes ont été élaborées à partir des valeurs des altitudes du toit des niveaux aquifères relevées sur les coupes géoélectriques. L'analyse de ces trois cartes a permis de dégager les points suivants :

- **L'aquifère du Bajocien (R1)** : le toit de ce niveau aquifère présente une structure en synclinal asymétrique qui montre un approfondissement vers le Nord-Ouest (vers Timouliht) et dans la zone centrale du secteur d'étude (Ouaouizeght). Les valeurs élevées observées au Sud-Est et vers le Nord, traduisent la remontée du toit de ce niveau aquifère à ces endroits en direction des affleurements des calcaires du Bajocien (Fig. 13).
- **L'aquifère d'Aalénien (R2)** : il constitue le deuxième aquifère potentiel dans la zone d'étude. La variation de la cote de ce niveau suit une structure en synclinal suivant une direction NW-SE (Fig. 14).
- La remontée du toit de cet aquifère au Sud-Est traduit la faible puissance du niveau conducteur du Bajocien inférieur.

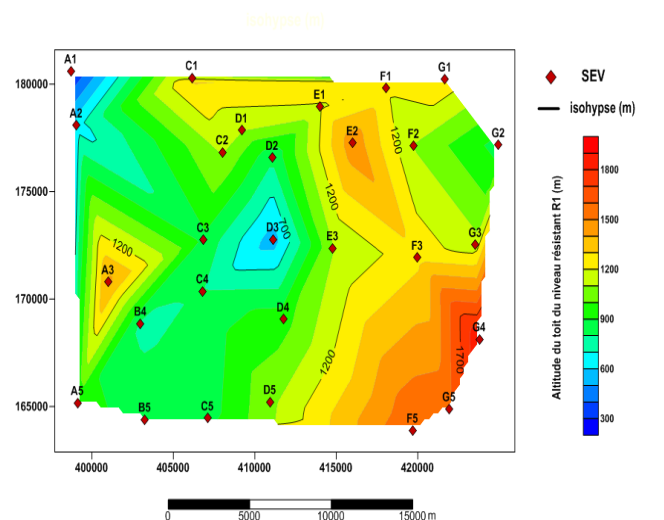


Fig.13 : Carte des isohypses du niveau aquifère R1.

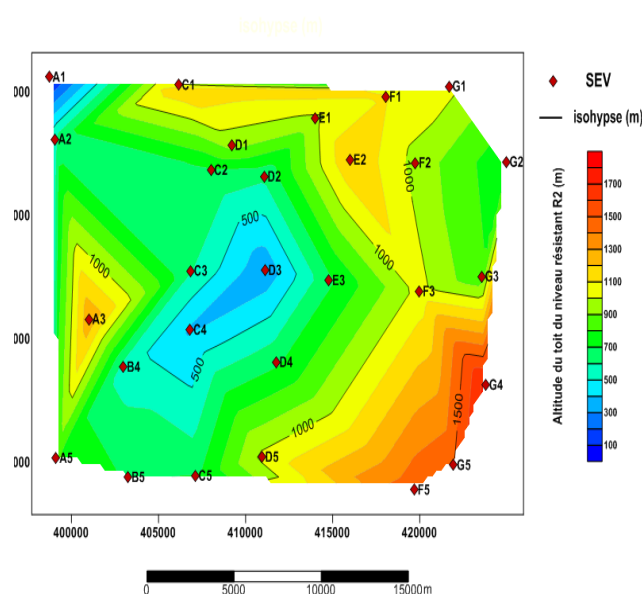
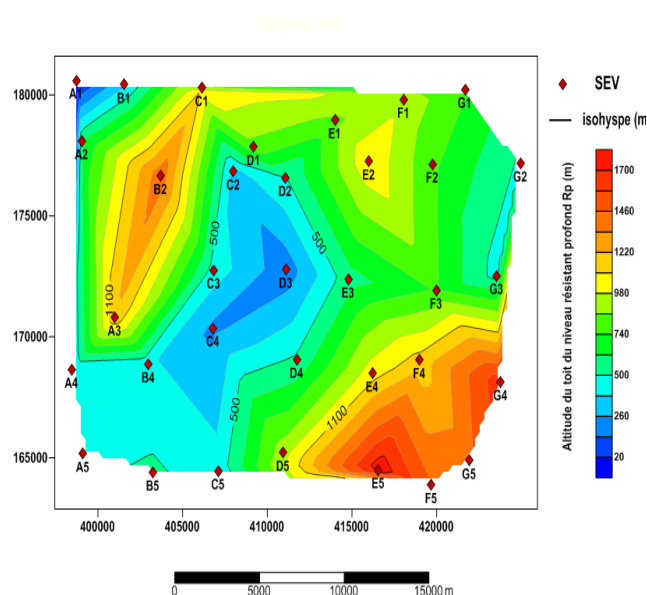


Fig.14 : Carte des isohypses du niveau aquifère R2.

- **L'aquifère du Lias inférieur (Rp)** : il présente un approfondissement progressif en allant du Nord-Ouest vers le centre de la zone tout en dessinant une structure en synclinal traduisant ainsi l'effet de la topographie de la zone d'étude (synclinal d'Ouaouizeght). L'analyse de cette carte a permis de révéler l'existence probable des failles de direction NE-SW et également l'existence de deux lignes de partage des eaux faisant ainsi ressortir trois compartiments : le premier est situé à l'extrémité Nord-Ouest, le deuxième est situé au centre de la zone d'étude (centre du synclinal) et le troisième au Sud-Est (Fig. 15).





**Fig.15** : Carte des isohypses du niveau aquifère Rp.

La combinaison des résultats de la prospection géophysique réalisée dans la zone d'étude avec les données géologiques et hydrogéologiques a permis de révéler l'existence de plusieurs failles de direction multiple affectant le système aquifère tricouche : R1, R2 et Rp, ces failles jouent un rôle incontournable dans la communication hydraulique par la favorisation des échanges de drainage inter-aquifère : abouchement du Dogger dans le Lias à travers des failles. En effet, l'eau circule à travers ces failles favorisant ainsi l'infiltration des eaux de pluies, qui constituent la principale source d'alimentation des dits aquifères (R1, R2 et Rp).

Notons aussi que les faibles profondeurs du toit de l'aquifère liasique (niveau résistant Rp) observées au Nord-Ouest (Jbel Ighnayene) et au Sud-Est (Jbel El Abbadine) de la zone d'étude notamment vers les affleurements des terrains carbonatés qui occupent les sommets des anticlinaux, constituent les zones de recharge naturelle de cet aquifère.

## Conclusions

La présente étude a fait l'objet d'une reconnaissance hydrogéologique par l'exploitation des résultats de la prospection électrique réalisée au niveau du bassin du Haut Atlas calcaire d'Ouaouizegth.

La prospection géophysique a permis d'avoir une idée sur la géométrie et la structure des niveaux électriques constituant le sous-sol et d'identifier les formations aquifères les plus potentielles de la zone d'étude R1, R2 et Rp qui logent principalement dans les roches calcaires et dolomitiques du Jurassique moyen et inférieur. Le toit de

ces aquifères suit une structure en synclinale asymétrique marqué par une dépression axiale au niveau central de la zone étudiée (centre du synclinal d'Ouaouizegth). La déformation par failles conjuguée à la fissuration et à la karstification font des formations du Jurassique moyen (Bajocien et Aalénien) et inférieur (Lias) des aquifères très productifs pour la mobilisation des débits importants pouvant assurer les besoins en eau croissants de la région d'Ouaouizegth et ses localités avoisinantes.

Les résultats obtenus de la présente étude serviront alors de guide pour poser des investigations et choisir judicieusement les sites d'implantations des ouvrages de captage d'eau à forte probabilité de réussite.

## Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une coopération entre la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal (FST BM), l'Agence du Bassin Hydraulique d'Oum Er'Rbia (ABHOER) et l'Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable (ONEE). Je tiens à remercier vivement toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.

## References et notes

1. M Combe. Le Haut Atlas Calcaire. Ressource en eau du Maroc, Tome 3 : Domaines atlasique et sud-atlasique, 1977
2. H Haddoumi, A Charrière, P Majon. *Geobios*. **2010**, 4, 433
3. A Benslimane, H Sahbi. *Geomaghreb*. **2007**, 4, 133
4. A Charrière, H Haddoumi, P Majon. *C.R. Palevol*. 2005, 4, 385
5. MEYER DE STADELHOFEN C. Application de la géophysique aux Recherches d'eau. Paris CEDEX, **1991**
6. A Essahlaoui, H Sahbi, N El Yamine. *Géologica Belgica*. 2000, 3, 53
7. J.L Astier. *Géophysique appliquée à l'hydrogéologie*, édit. Masson. Paris, **1971**
8. Z Ouzerbane, N Abdessamad, T Aifa, A El Hmaidi, A Essahlaoui & F Radouani. *Journal of Hydrocarbons Mines and Environmental Research*. **2013**, 4, 70
9. A Charrière & H Haddoumi. *Boletín Geológica y Minero*. **2016**, 127, 430
10. G Marquis. *Prospection électrique*. 2005, 5-11
11. A Charrière, H Ibouh & H Haddoumi. Le Haut Atlas central de Béni Mellal à Imilchil. Editions du service géologique du Maroc : Rabat, **2011**
12. A Essahlaoui. Thèse de doctorat. Contribution à la reconnaissance des Formations aquifères de Meknès-Fès (Maroc) : prospection Géoélectrique et inventaire des ressources en eau, Ecole Mohammedia d'ingénieurs de Rabat, **2000**.