



Contribution of the method of the electric resistivities in the gratitude (recongition) of the aquifer turonien in the plain of Tadla and the tray of phosphates (Morocco)

A. Zitouni^{1*}, A. Boukdir¹, V.R. Ekouele Mbaki¹, W. Baite¹, Z. Echakraoui¹, H. Ben Said¹, E. Sabri¹, N. Lmoudn², A. Elissami³ et M.R. El Masouhi⁴

^[1] Laboratoire de la Génie Industriel, Faculté des sciences et techniques, Université Sultan My Slimane BP : 523, 23000 Beni Mellal, Maroc

^[2] Méditerranée Travaux Etudes Et Conseils D'ingénierie (MEDITEC-IN), Béni Mellal, Maroc.

^[3] Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable (ONEE), Rabat, Maroc.

^[4] Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er-Rbia (ABHOER), Beni Mellal, Maroc.

* Corresponding Author: +212 626973905, abdelhamidgat@gmail.com

Taking into consideration the increasing needs of waters in our country for domestic and agricultural use as well as for manufacturing, the prospecting of subterranean waters using geological and hydrogeological classical methods remains inaplicable in the cases of the regions where they do not have drillings or polls of in very sufficient numbers.

In that case of figure, the method of prospecting geophysics such as the method of Nuclear Magnetic Resonance (NMR) and the method of the geophysics radar are used most usually because they showed, all over the world, very decisive results in the projects of prospecting and evaluating the ressources in subterranean waters.

In the present work, which concerns only the methodology of the electrical resistivities, we shall treat the adopted methodological approach and the case study of application in the turonian aquifer in the Tadla Plain and the plateau of phosphates.

Received: 27 December 2017

Accepted 22 May 2017

Available online: 30 May

Keywords:

Electric resistivities ;
Methodology ;
Hydrogeology ;
Prospection ;
Ressources in subterranean waters ;
Plain of Tadla and tray of phosphates.

Introduction

Dans notre pays à vocation agricole pour tout développement local ou régional, la ressource en eaux constitue le premier facteur déterminant. Cette ressource trouve son origine en surface et en profondeur, soit dans les eaux de surface soit dans les eaux souterraines. Contrairement aux ressources de surface, la ressource souterraine ne présente pas une proximité, mais plutôt, la sûreté vis-à-vis de la pollution, l'évaporation, etc. Ainsi,

elle nécessite des études approfondies pour son dégagement et évaluations.

Les méthodes géophysiques actuellement utilisées en prospection et évaluation de la ressource en eaux souterraines sont la Résonance Magnétique Protonique, le Radar géophysique et les méthodes électriques dont la méthode, par sondages ou trainé électriques occupe la première place [1-9].

Nous présentons dans ce travail les apports de l'application de la méthode des sondages électriques à la reconnaissance de la

nappe du Turonien du bassin du Tadla-Plateau des phosphates. Il s'agit de la nappe la plus importante dans tout le bassin pour deux principales raisons; tout d'abord parce que c'est la nappe la plus importante en qualité et quantité d'eau et parce que c'est la nappe qui est exploitée à environ 90% pour l'AEP de la plupart des villes et agglomération du bassin [5].

Description de la zone d'étude

1. Cadre Géographiques

Le secteur d'étude dit de Oulad Y'Aich se situe dans la plaine de Tadla (Fig. 1) elle-même faisant partie du grand bassin hydrogéologique de l'Oum Er R'Bia. Les limites régionales de la plaine du Tadla sont le massif hercynien central au Nord; les Jebilet et le haut Atlas central au Sud (Fig. 2); la chaîne atlasique à l'Est et la mésata marocaine à l'Ouest.

Dans ce qui suit de ce paragraphe, nous présentons les données concernant toute la plaine du Tadla et ce dans le but de situer le secteur d'étude dans son contexte régional et de comprendre par voie de conséquence son fonctionnement hydrogéologique.

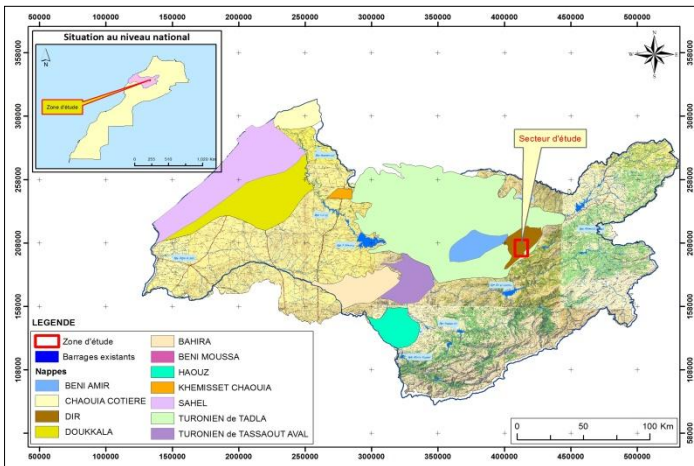


Fig 1: Situation de la zone d'étude

2. Cadre Hydrogéologique

2.1 Généralités

Le bassin hydrogéologique dit bassin du Tadla-Plateau des phosphates renferme un système aquifère important allant du Primaire au Moi-Plio-Quaternaire [2-3]. Les nappes sont de bas en haut :

- la nappe primaire altérée (mal connue) ;
- la nappe infracénomaniennne (n'est pas très productive) ;
- la nappe cénomaniennne (la nappe la moins importante dans la région) ;
- la nappe turonienne (la plus importante dans la zone) ;
- la nappe sénonienne (très étendue, mais peu productive) ;
- la nappe éocène (classée deuxième après celle du Turonien);
- la nappe Mio-plio-quaternaire (nappe phréatique de Béni Amir et de Béni Moussa).

2.2 Données des points d'eau n° IRE Située de la zone d'étude

L'étude des fiches techniques des forages nous a montré que les points N°IRE suivants[14], sont les plus représentatifs pour la reconnaissance hydrogéologique de la zone d'étude :

N°IRE : 2698/37 (Située à l'Est de la zone d'étude).

- **Nature:** Forage.
- **Carte de situation :** Béni Mellal au 50 000^{ème}.
- **Coordonnées Lamberts (en m) :** X = 410 150, Y= 202 500 et Z= 495.
- **Profondeur mesurable :** 400m.
- **NP / sol :** 53.23m.
- **Essai de débits :** 20 l/s.
- **Conductivité électrique (à 25°C):** 495 mho/cm.
- **Température de l'eau :** 24°C.
- **Résidu sec à 105°C :** 346.5 mg/l.

N°IRE : 2795/36 (Située au nord de la zone d'étude).

- **Nature:** Forage.
- **Carte de situation :** Béni Mellal au 50 000^{ème}.
- **Coordonnées lamberts (en m) :** X = 406 640, Y= 210 750 et Z= 430.
- **Profondeur mesurable :** 330m.
- **NP / sol :** 49.50m.
- **Essai de débits :** 40l/s.
- **Conductivité électrique (à 25°C):** Non précisée.
- **Température de l'eau :** 24°C.

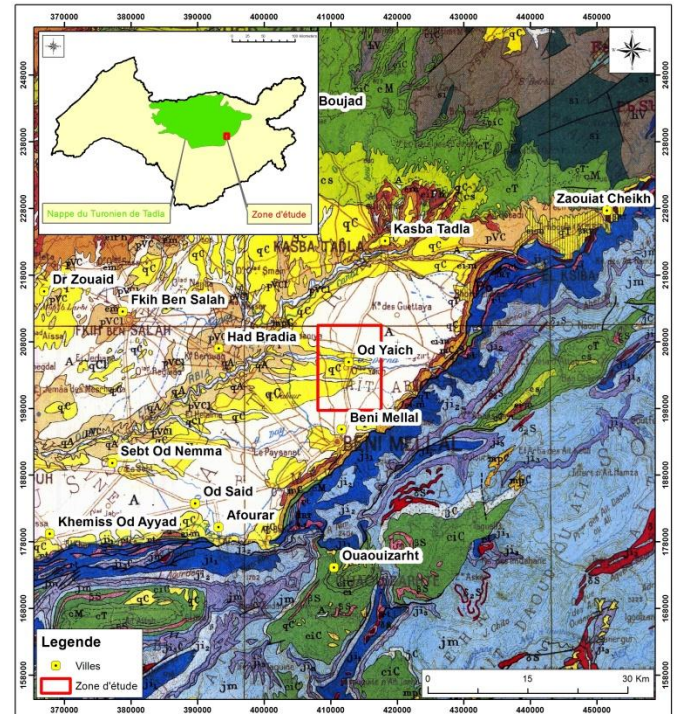


Fig 2: Carte géologique de la zone d'étude (extrait de la carte géologique du Maroc au 1/500 000)

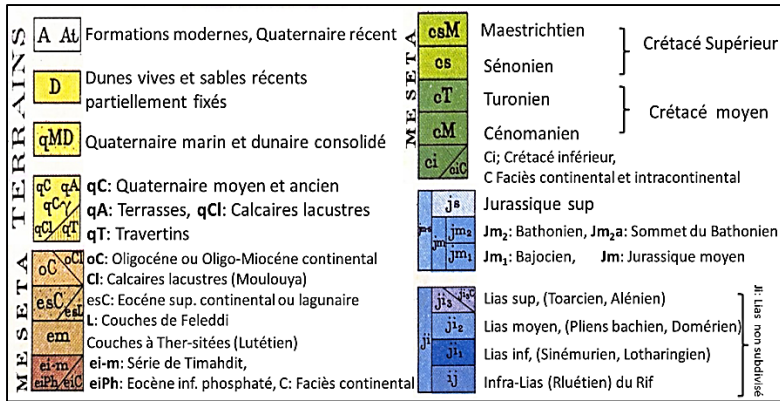


Fig 3: Légende de la carte géologique du Maroc au 1/500 000

2.3 Hydrogéologie de la nappe du Turonien

La nappe du Turonien ; objet de la présente étude, se caractérise par [3-5-14] :

- une superficie de 10000 Km², dont 1150 km² d'affleurement, avec 5350 km² recouverts des séries peu épaisses et 3500 Km² profondément enfoui (géosynclinal de Tadla) ;
- une épaisseur de formations renfermant la nappe turoniennes telle ; les calcaires compacts localement très fracturés. Les épaisseurs sont de l'ordre de 20 à 60m et, augmente du Plateau des phosphates situé Nord vers la plaine du Tadla au Sud ;
- les paramètres hydrauliques du réservoir, très variables. On trouve dans les secteurs Nord Est, des transmissivités de 10-3 à 10-2 m²/s au niveau de la nappe libre tandis que dans les secteurs à nappe captive, elles sont de l'ordre de 10-5 à 10-2 m²/s.

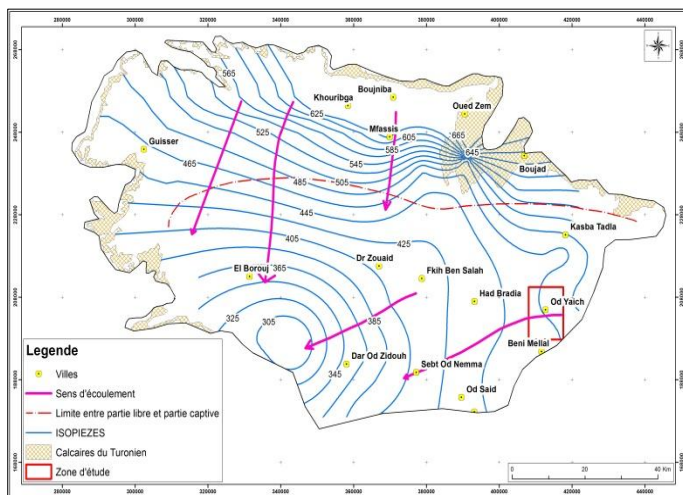


Fig 4: Carte d'évolution de la piézométrie de la nappe du Turonien (2013).

- une piézométrie à travers laquelle on note que les courants sont assez réguliers dans la nappe libre (Fig. 4), notamment dans la partie Nord Nord Est [14] ; avec un écoulement

orienté du Nord vers le Sud et un gradient hydraulique moyen de l'ordre de 1%. Dans l'autre moitié, au Sud notamment ; le gradient décroît très fortement au Sud, Sud-ouest, au cœur du synclinal de Tadla avec une moyenne de 0.5%.

- La majorité des eaux du Turonien ont un faciès bicarbonaté calco-magnésien. On rencontre parfois le faciès sulfaté et chloruro-calcique. Ces eaux sont en général de bonne qualité avec une salinité comprise entre 0,5 et 2 g/l.

Matériels et méthodes

1. Méthodologie

1.1 Principe de la méthode des SE (fig. 5)

Le sondage électrique permet d'étudier la variation de la résistivité du sol avec la profondeur [1-9-10-11]. L'acquisition des données sur le terrain s'effectue de la façon suivante : On envoie dans le sol, par l'intermédiaire de deux électrodes A et B, un courant d'intensité (I) au moyen de batteries ou de groupe électrogène. On mesure, à l'aide d'un potentiomètre (lecture directe) ou d'un enregistreur, la différence de potentiel (ΔV) qui se produit entre deux électrodes de mesures M et N en augmentant chaque fois la longueur de ligne AB. Les valeurs des résistivités apparentes obtenues représentent des profondeurs de plus en plus importantes [1-3-5-6-7-9].

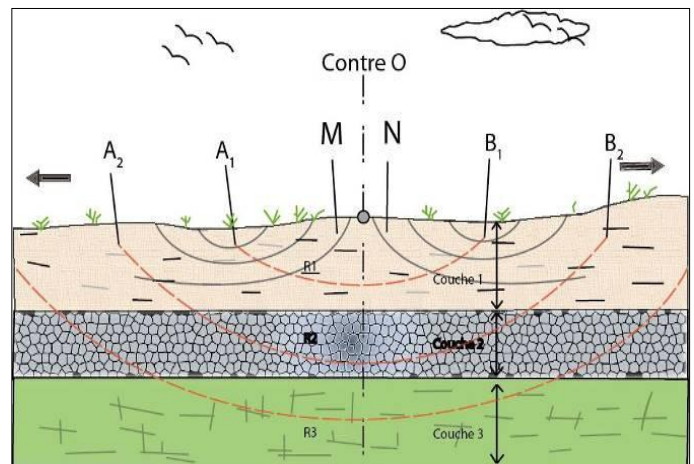


Fig 5: Schéma de principe de la méthode par SE (dispositif Schlumberger)

Le quadripôle **Schlumberger**, qui a été appliqué dans le cadre de la présente étude se caractérise par une distance MN petite devant AB afin de pouvoir introduire la notion de champ électrique facilitant ainsi les calculs théoriques. L'application de la loi d'ohm permet de calculer pour chaque longueur de ligne AB une valeur de résistivité apparente (R) définie par la formule suivante [1-9-13] :

$$R = K \cdot \Delta V / I$$

K étant un coefficient qui dépend de la géométrie du dispositif AMNB.

Les mesures géophysiques réalisées sur le terrain ont été effectuées par un résistivimètre GRM 3000. Un total de 17 sondages électriques verticaux, 16 sondages de couverture sur un maillage d'environ 2Km*2Km et une distance AB qui peut atteindre 5 Km.

1.2 Traitement des diagrammes des SE

Le diagramme de sondage électrique (SE) s'obtient en reportant sur une grille à échelle bilogarithmique les valeurs d'AB/2 (en m) en abscisses et les résistivités apparentes (en ohm.m) en ordonnées [1-9-12-13].

L'étude de ces diagrammes, leur comparaison entre eux et avec des abaques de même que leur analyse à l'aide de programmes informatiques permettent de déterminer, dans la majorité des cas, la succession verticale de «couches électriques» ainsi que la résistivité vraie de chacune. Ceci exige, bien évidemment, que les contrastes de résistivités entre les différentes formations soient suffisants [1-9-12].

L'interprétation quantitative des sondages électriques réalisés dans le secteur d'étude a été faite sur ordinateur à l'aide de logiciel **WinSEV** de Géo-Soft qui est spécifiques à l'interprétation et de traitement [1-16], et le logiciel **Quantuim-Gis** pour l'interpolation des résultats obtenus et la présentation des cartes. Ces derniers permettent une analyse de courbes lissées avec des abaques théoriques de façon à éliminer les effets d'acoups de prise éventuels qui pourraient nuire à l'analyse informatique [1-5-9-13].

2. Application au secteur de Oulad Y'Aïch

2.1 Objectif de l'étude

Les objectifs principaux de la présente étude consistent à :

- Montrer l'apport des méthodes géophysiques notamment les résistivités électriques à la prospection et à la reconnaissance des aquifères d'eaux souterraines;
- Faire l'application sur l'aquifère turonien dans la plaine du Tadla et plateau des phosphates;
- Montrer l'apport de la méthode à la reconnaissance de l'aquifère turonien notamment sa structure, son écoulement et ses variations latérales de faciès.

2.2 Secteur d'étude

Le secteur d'étude, constituant une zone pilote parmi plusieurs étudiées dans le cadre du projet de prospection que nous entreprenons dans tout le bassin de l'Oum Er R'Bia, est situé dans la région Oulad Y'Aïch au Nord de la ville de Béni Mellal (fig. 6). Elle est caractérisée par un enfouissement important des aquifères surtout le Turonien.

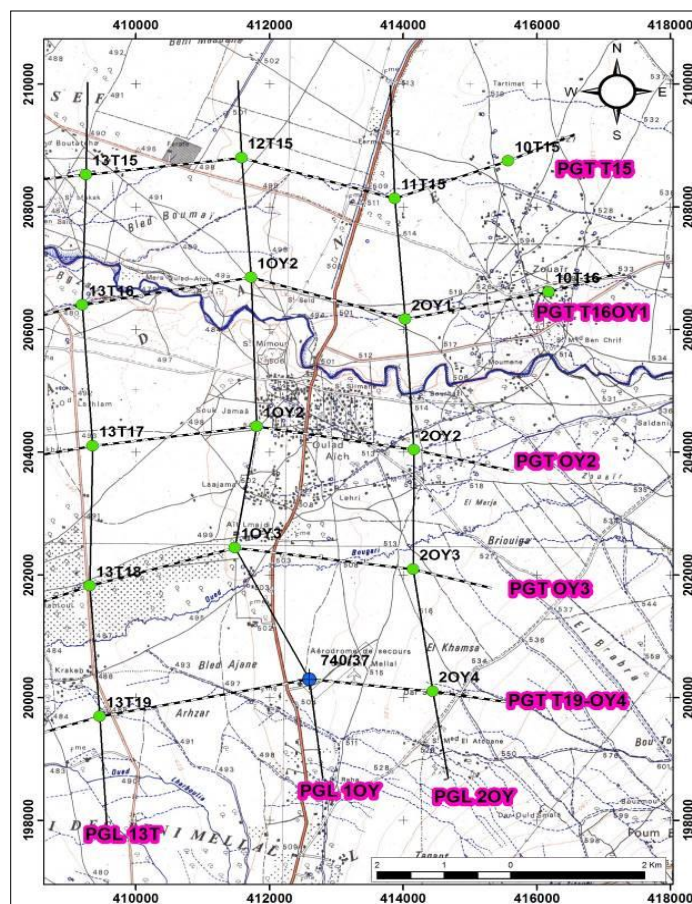


Fig 6 : Carte de situation des Sondages électriques et profils géo-électriques

2.3. Sondages électriques réalisés

Les sondages électriques qui ont été pris en considération par le présent travail sont de deux types; ceux réalisés en 1992 par l'Agence du Bassin Oum Er R'Bia (ancienne DRH) dans le cadre de ses études de prospection d'une part et ceux réalisés entre 2000 et 2001 dans le cadre du projet de prospection géophysique dans le bassin du Tadla-plateau des phosphates. Il s'agit au total de 17 sondages électriques (fig. 6).

Nous n'exposons que les diagrammes de sondages électriques typiques et celui de calage réalisé dans le forage d'exploitation situé dans la zone d'étude. Ces diagrammes sont (fig. 7) :

- Le diagramme du SE de calage (fig. 7a) réalisé au lieu du forage N°IRE 740/37 de l'aérodrome de secours de la ville de Béni Mellal;
- Le diagramme type 1 (fig. 7b) du SE 13T15 réalisé à l'extrémité Nord de la zone d'étude;
- Le diagramme type 2 (fig. 7c) du SE 13T17 réalisé au centre de la zone d'étude;
- Le diagramme type 3 (fig. 7d) du SE 13T19 réalisé à l'extrémité Sud de la zone d'étude.

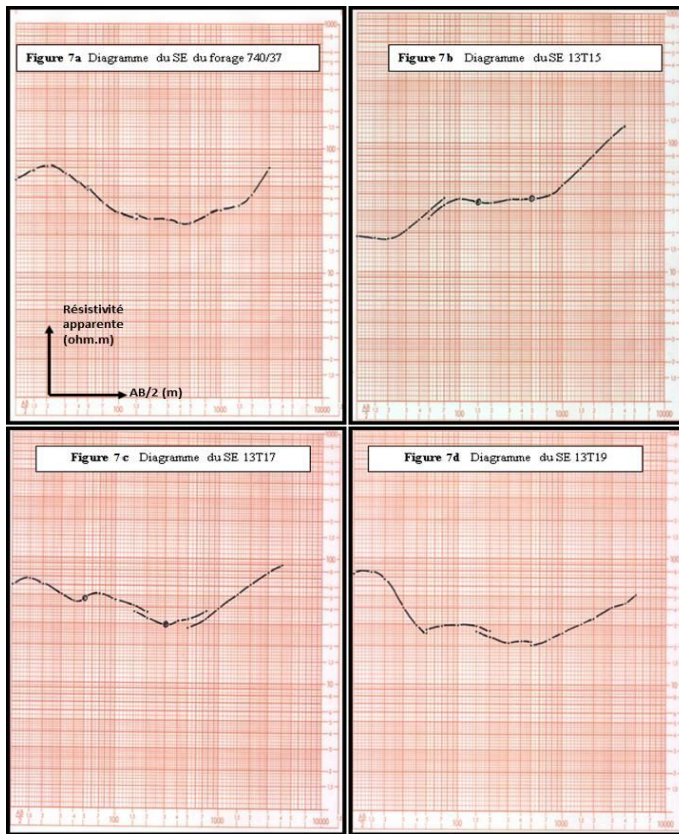


Fig 7: Diagrammes des Sondages Electriques typiques réalisés dans le secteur d'étude

2.4. Exploitation des résultats des sondages électriques

Les résultats obtenus, à la fin des différentes phases d'interprétations des sondages électriques tout d'abord par abaques théoriques et en suite par logiciels, ont été exploités sous deux formes de documents; les Profils Géo-électriques (PG) à deux dimensions (2D) et les Cartes Géo-électriques (CG) à trois dimensions (3D).

a- Cartes géo-électriques (ou CG)

Parmi les nombreux essais de cartographies qui ont été réalisé ; cartes des résistivités apparentes en des AB différents, cartes des résistivités transversales, cartes des conductances longitudinales et cartes des isohypses aux toits, aux murs et d'épaisseur, nous n'exposons que la carte des isohypses au toit du résistant turonien (Rt) (**fig. 8**) la plus concluante.

Selon cette étude, la formation turonienne présente un enfouissement du NNE vers le SSW avec un pendage moyen de l'ordre de 0.33 % confirmant là aussi les recharges évoquées ci-dessus. De même ; elle montre qu'à cet endroit du bassin le Turonien s'enfouit vers le Sud avec un gradient hydraulique de l'ordre de 2.75%.

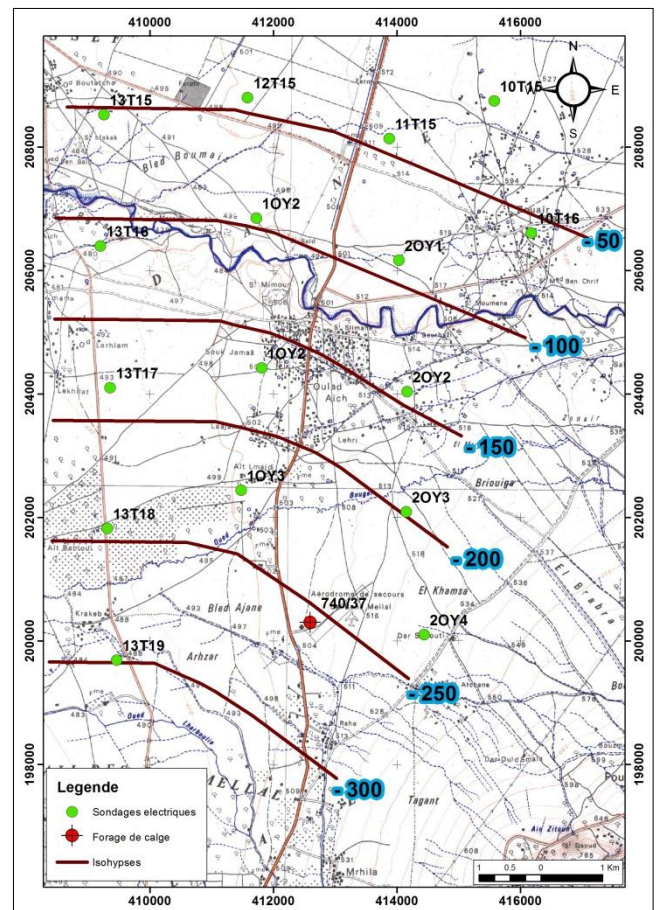


Fig 8: Carte des isohypses du toit du résistant turonien (Rt)

b- Profils géo-électriques (ou PG)

Deux types de profils géo-électriques ont été établies; les Profils Géo-électriques Transversaux (PGT) selon des directions approximativement Est-Ouest et les Profils Géo-électriques Longitudinales (PGL) de directions approximatives Nord-Sud.

Les cinq (PGT) qui ont été réalisés ne sont pas présentés du fait qu'ils ont montré que les formations rencontrées sont sub-horizontales. Par contre les trois (PGL) qui ont été réalisés ont montré un fort pendage vers le Sud. Seul le (PGL) 13T est présenté dans cette note (**fig. 9**).

Sur le plan hydrogéologique, ces profils montrent que l'écoulement général des eaux des différents aquifères se font du NNE vers le SSW confirmant ainsi l'hypothèse qui est pour le fait que les recharges se font au Nord-Est de la zone d'étude pour la nappe éocène et au Nord de celle-ci pour la nappe turonienne.

Les diminutions des valeurs des résistivités des différentes formations du Nord vers le Sud sont dues aux variations latérales de faciès qui deviennent de plus en plus marneux vers le Sud.

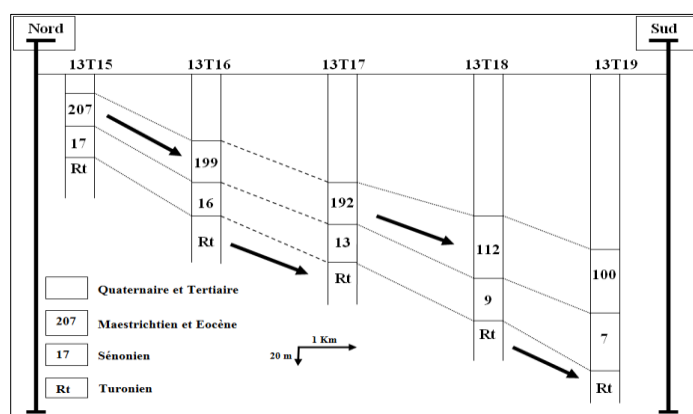


Fig 9: Profil géo-électrique longitudinal N°13T (PGL 13T)

Cette coupe est réalisée sur environ 9 Km, elle montre la structure en synclinal asymétrique du bassin où le Turonien s'enfouie progressivement en direction du Sud. L'axe de cette dépression se situe dans la région de Oulad Y'Aïch. En effet, dans cet endroit du bassin, la coupe montre que le Turonien se trouve à des profondeurs allant de 100 m du nord à plus de 300 vers le sud.

Cette remontée en direction de l'Atlas est confirmée par le forage n°IRE 740/37 (forage de l'aérodrome de la ville de Béni Mellal [14]) qui a traversé le Turonien à partir de 770m de profondeur.

Ainsi, cette coupe n'a permis de mettre en évidence aucun jeu de failles affectant la série sédimentaire et plus particulièrement la formation du Turonien.

Conclusions

La méthode des résistivités électriques appliquée à la reconnaissance des aquifères souterrains est une méthode qui peut être aussi bien adaptée aux projets d'études régionales que locales. En effet, dans le cas régional, elle permet de suivre l'évolution de caractéristiques pétro-physique, géométrique, etc. en plus du fait qu'elle permet de localiser les zones à potentiels en eaux. Dans le cas de prospection locale, elle permet au moins de définir la succession verticale des aquifères existants en plus des caractéristiques pétro-physiques locales qui peuvent être comparées à ceux des forages de calages les plus proches.

Les apports de l'application de cette méthode à la reconnaissance du système aquifère du Tadla-plateau des phosphates notamment à son aquifère turonien sont à la fois importants et nombreux. En effet, cette application a permis de connaître les aquifères dans la zone d'étude, leurs épaisseurs, leurs écoulements, etc. D'autre part, on a montré que la nappe du Turonien et celle de l'Eocène présentent une variation latérale de faciès du Nord vers le Sud qui se matérialise par une diminution des résistivités transversales.

En plus, les résultats obtenus ont permis de montrer que la nappe du Turonien est peu intéressante au Sud avec des valeurs de résistivité transversale qui montrent que celle-ci devienne

plus marneuse donc peu transmissive. Ces résultats confirment les débits faibles obtenus par un certain nombre de forages réalisés dans le secteur tel que le forage N°IRE 740/37 de l'aérodrome de secours de la ville de Béni Mellal.

Ainsi, nous confirmons par nos résultats que la méthode des résistivités électriques est un guide important pour la reconnaissance des aquifères souterrains et pour l'implantation des sondages mécaniques de reconnaissance en augmentant leur chance de réussite et minimisant ainsi le coût de la reconnaissance.

Remerciements

Ce travail entre dans le cadre de la coopération entre la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, l'Agence du Bassin Hydraulique d'Oum Er'Rbia (ABHOER) et l'Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable (ONEE) à qui nous exprimons nos vifs remerciements.

Références et notes

1. J.L ASTIER, Géophysique appliquée à l'Hydrogéologie. *Masson et Cie, Editeurs, Paris, 1971.*
2. H ETIENNE & D GUESSAB, Plaine du Tadla. Ressource en eau du Maroc, Tome 2 : Plaines et bassins atlantiques, **1975.**
3. A Boukdir, Etude hydrogéologique en vue d'une modélisation du système aquifère du Tadla-Plateau des phosphates. CEA, *Fac. Scien. Semlalia Marrakech, 1990.*
4. A Boukdir, Etude géothermique du bassin du Tadla-Plateau des phosphates. DES, *Fac. Scien. Semlalia Marrakech, 1994.*
5. A Boukdir et Al, Prospection des eaux souterraines par méthode des résistivités électriques-Approche méthodologique et étude de cas dans le bassin de l'Oum Er R'Bia. Rencontre nationale des géomorphologues marocains, *Faculté des Lettres et sciences humaines, 2002.*
6. DRPE, Etude par sondages électriques – plaine de Tadla. *GEOATLAS SA, 1992.*
7. M. B DOBRIN, Introduction to geophysical prospecting. 3rd ed.:New York, **1976.**
8. R Lagabrielle, S Teilhaud, Prospection de gisements alluvionnaires en site aquatique par profils continus de résistivité au fond de l'eau, **1981**, 114, 17-24.
9. MEYER DE STADELHOFEN C., Application de la géophysique aux recherches d'eau. Paris CEDEX, **1991.**
10. TELFORD W.M., GELDARD L.P., SHERIFF R.E., KEYS D.A., Applied geophysics. New York, Cambridge University Press, **1976.**
11. MECHLER P. Les méthodes de géophysique. Dunod, Bordas, Paris, **1982.**
12. A ZHODY. A new method for the interpretation of schlumberger and wenner curves, *géophysics, 1989*, 54, 249-253.
13. G Marquis. Prospection électrique. **2005**, 5-11.
14. ABHOER, Etude de prospection géophysique par sondages électriques de la nappe profonde du turonien de Tadla dans la partie sud-est des Beni Moussa, **2013**, 15-40.
15. A Charrière & H Haddoumi. Boletín Geológica y Minero.**2016.**

16. Z Ouzerbane, N Abdessamad, T Aifa, A El Hmaidi, A Essahlaoui & F Radouani. *Journal of Hydrocarbons Mines and Environmental Research*. **2013**, 4,70.