

Contribution of Tomography Electrical Resistivity in Hydrogeological at the Middle Atlas Causse (El Hajeb-Morocco)

Hmad Bouikbane¹, Mustapha Boualoul¹, Ahmed Benamara²,
Abdelfettah EL Kourchia¹

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

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

Abstract: The Causse El Hajeb-Ifrane, located in northern Morocco, is part of the large structural unit of the tabular Middle Atlas, consisting of mainly dolomitic limestone of Liassic age, characterized by fracturing and karstification. It is an important hydrogeological reservoir under an impermeable formed by the red clays of the Triassic. As part of this study, and in better to map the favorable areas to the natural transfer of groundwater, we have adopted a methodological approach using geophysics prospecting by electrical tomography technique at the foothills of the plateau and its contact with the plain of Saiss. After interpreting and processing the results of the electrical tomography, we have identified a set of geophysical discontinuity which could correspond to faults, which convey groundwater from the plateau towards the plain of Saiss.

Keywords: Causse medium Atlas, limestone, groundwater, electrical tomography

I. Introduction

Le Maroc est en général un pays aride à semi aride, bien que l'aridité soit moins marquée dans la moitié septentrionale. Très souvent, les eaux souterraines constituent la source principale d'approvisionnement en eau, provoquant quelquefois des processus de surexploitation et/ou de dégradation de la qualité de l'eau.

Des études similaires ont été réalisées dans la région, en appliquant les méthodes électriques; elles ont mis en évidence l'existence d'un certain nombre de fractures, dont certaines sont avérées sèches et la présence d'un écoulement horizontal, suivant les couches géologiques, qui alimente en partie la source Ain Bittit. Dans la suite de mettre en évidence le réseau de fracturation au niveau de la source Ain Aghbal; nous avons fait appel à la méthode de prospection géoélectrique par la tomographie de résistivité électrique (TRE).

II. Situation De La Zone D'étude

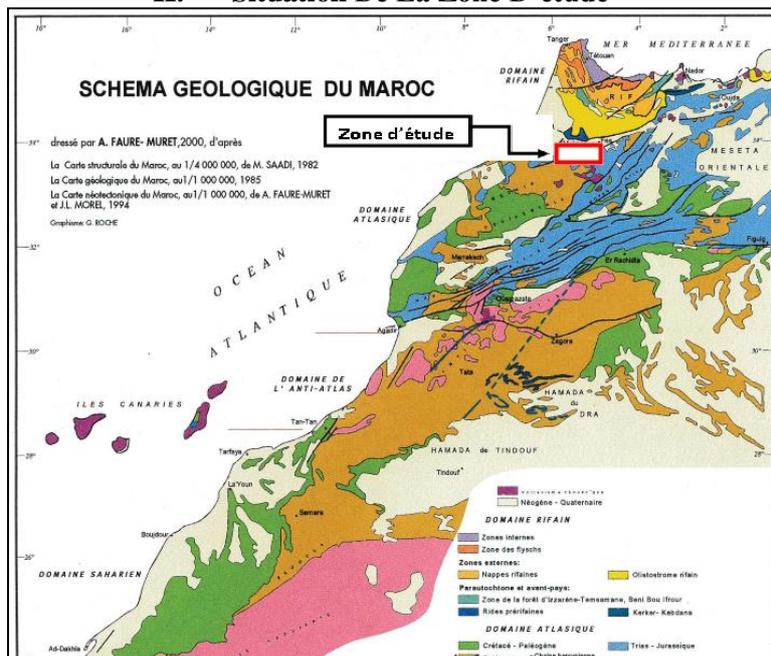


Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude (service géologique Rabat, 2009)

III. Mise En Œuvre De La Tomographie De Résistivité Electrique (TRE)

Dans le présent travail, nous avons adopté la technique géophysique par tomographie électrique. Cette étude s'est déroulée en deux missions, la première en mai 2014 dans laquelle les profils TRE1a et TRE8 ont été réalisés à l'aide d'un appareil Syscal Pro avec 94 électrodes, et une deuxième en mars 2015 dans laquelle nous avons fait la suite de notre campagne y compris les profils de TRE1 à TRE7, en utilisant un appareil Terrametre SAS400 avec 64 électrodes.

Les profils de TRE1 à TRE6 sont orientés suivant une direction Nord-Sud, le profil TRE8 a été réalisé selon la direction E-W et TRE7 a une direction NE-SO (Figure 2).

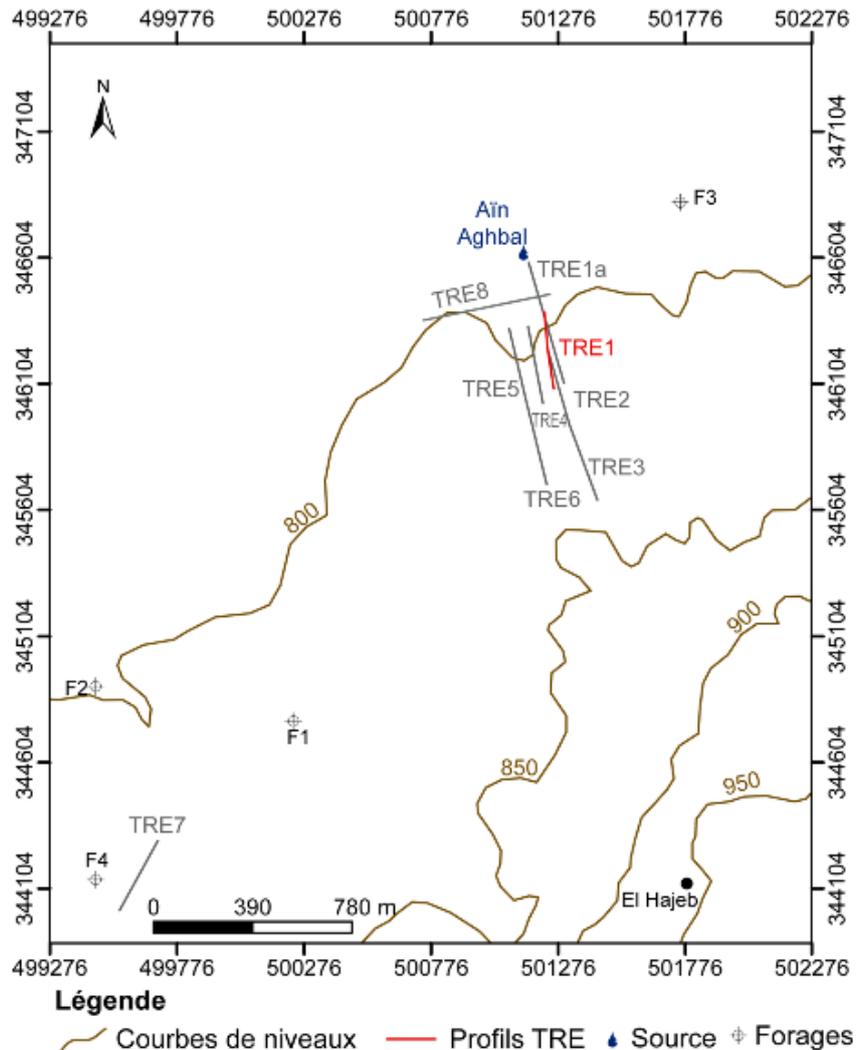


Figure 2: Plan de situation de mesures de Tomographie électrique

IV. Discussion Des Résultats De La Tomographie De Résistivité Electrique (TRE)

4.1 Pour la Coupe du profil TRE1

A partir de l'analyse de la coupe présentée à la figure 3, nous observons une hétérogénéité du terrain prospecté, caractérisé par une alternance des terrains résistants et conducteurs. En allant du Sud vers le centre du profil, nous avons constaté la présence d'une couche très conductrice (5 à 30 Ohm.m) subhorizontale encaissée entre deux couches résistantes ayant des valeurs supérieures à 125 Ohm.m. Selon les données lithologiques du forage F3, les formations résistantes pourraient correspondre à des calcaires dolomitiques du Lias, et celles qui sont conductrices seraient attribuées aux formations argileuses du Trias. Ci-dessous la coupe lithologique du forage F3:

- 00-20m : sables argileux
- 20-36m : marnes
- 36-96m : calcaires dolomitiques
- 96-112m : argiles rouges
- 112-121m : basaltes

A une distance d'environ 160m du début de profil, la coupe montre l'existence d'une discontinuité au niveau de la couche résistante située à une profondeur d'environ 30m. En effet cette discontinuité pourrait correspondre à une faille ou fracture affectant les calcaires dolomitiques du Lias. A partir du centre vers le Nord du profil, une couche conductrice surmontée d'une formation résistante a été détectée depuis la surface jusqu'à une profondeur qui varie de 50m au centre et 20m vers le Nord. Les corrélations entres ces résultats et celles forages réalisés dans la zone d'étude, nous ont permis d'attribuer ces formations conductrices aux argiles rouges supérieures du Trias.

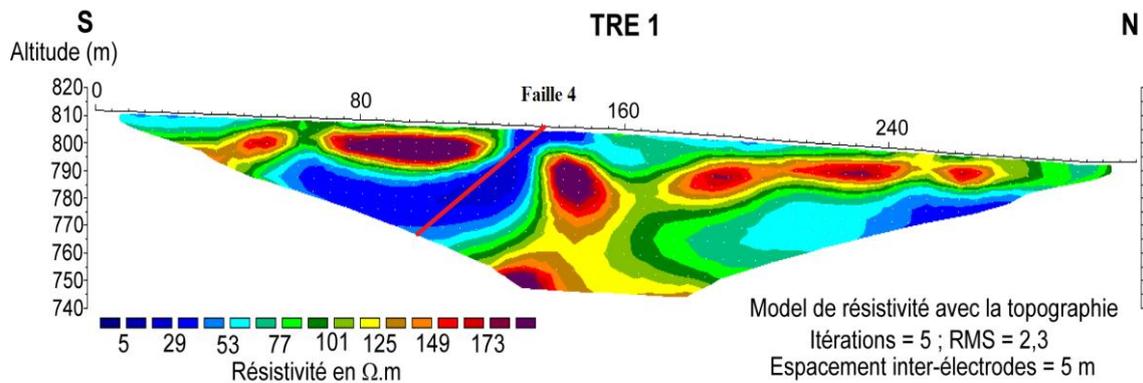


Figure 3: coupe de profil de tomographie électrique TRE1

4.2 Pour la coupe du profil TRE1a

Après l'inversion des données, la section présentée dans la figure 4, montre depuis la surface jusqu'à une profondeur d'environ 25m, l'existence d'une couche relativement conductrice, surmontée d'une couche très résistante (de 25m à 75m en profondeur), qui est détectée depuis le début du profil jusqu'à 320m de distance. Nous constatons aussi la présence d'une anomalie conductrice entre 320 à 350m. En suite la présence d'une couche très conductrice située à une profondeur comprise entre 75 et 100m et de résistivité électrique d'environ 20 Ohm.m.

Les terrains résistants rencontrés en surface sont des formations plio-quaternaires, celles qui se trouvent en profondeurs correspondent aux formations calcaires du Lias.

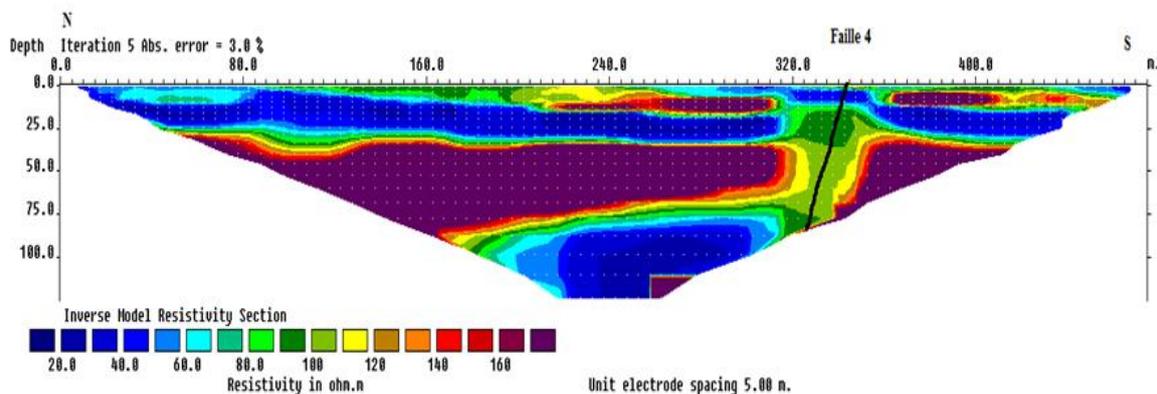


Figure 4: Coupe du profil TRE1a

4.3 Pour la coupe du profil TRE2

La coupe de tomographie de résistivité électrique représentée ci-dessous (Figure 5), montre généralement la présence des formations résistantes et conductrices. Au niveau du point x=80m de début de profil, une formation verticale résistante a été détectée, puis une formation horizontale à subhorizontale qui s'étend de 100 à 160m le long du profil à une profondeur d'investigation de l'ordre de 35m environ, et surmontée par un complexe moyennant résistante. La formation résistante correspond vraisemblablement à des formations calcaires dolomitiques du Lias, ainsi celles qui sont intermédiaires seraient attribuées aux formations plio-quaternaires (limons, sables, argiles et grès).

A une distance de 170m de début du profil, l'allure de notre coupe a mis en évidence l'existence d'une discontinuité géophysique marquée par le remplissage d'une formation conductrice. Alors nous pouvons déduire que ces formations résistantes ont été affectées probablement par des failles ou fractures. En suite la présence des formations résistantes, dont la résistivité électrique varie de 120 à 170 Ohm.m à une profondeur d'environ

20m, qui surplombent des formations conductrices de résistivité apparente d'environ 20 Ohm.m, et discontinues géophysiques à une distance de 270m de début du profil. Selon les connaissances de l'état de la zone d'étude, et en couplant aux données des forages existants, des sondages électriques verticaux et des études déjà réalisées dans la zone d'étude, les formations résistantes détectées pourraient fort probablement correspondre à des calcaires du Lias affectés par une faille et/ou fracture, et celles conductrices sont des argiles gypsifères du Trias.

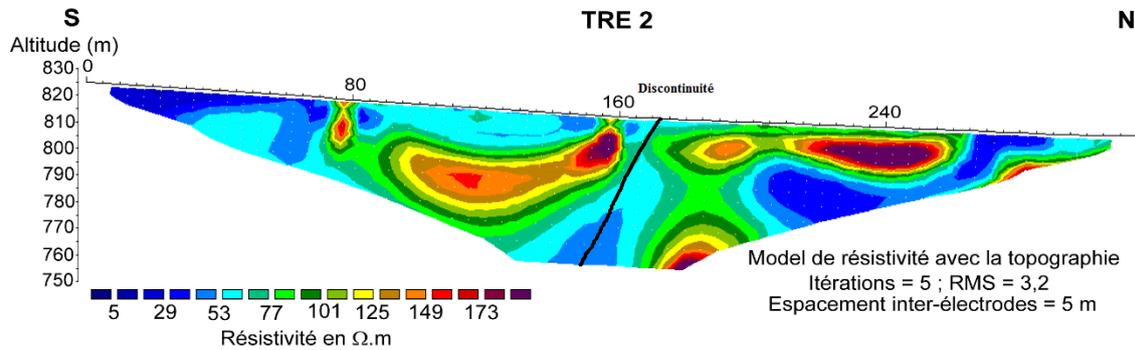


Figure 5: coupe de profil de tomographie électrique TRE2

4.4 Pour la coupe du profil TRE3

La coupe présentée à la Figure 6 est une suite du profil TRE2 vers la partie sud de la zone d'étude ; elle est caractérisée par la remontée du substratum argileux triasique, ainsi la présence des terrains très conducteurs, sauf au niveau du centre du profil et à une profondeur d'environ 70m, que nous constatassions l'existence des terrains résistants. Ceci s'accorde avec les résultats du profil TRE2 (figure 5). En effet cette coupe a mis en évidence la présence des argiles rouges triasiques correspondant aux formations conductrices.

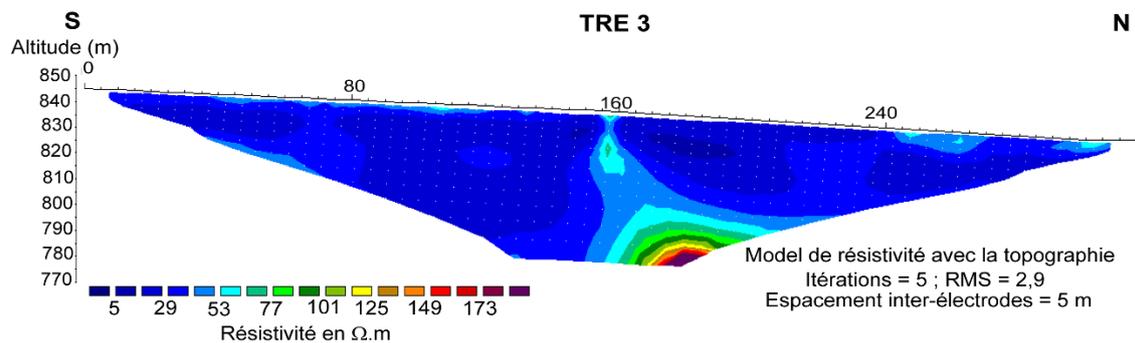


Figure 6 : coupe de profil de tomographie électrique TRE3

4.5 Pour la coupe du profil TRE4

Elle est caractérisée par une alternance des formations résistantes et conductrices avec des passages de résistivités intermédiaires. Dans la moitié sud du profil, le terrain prospecté est généralement conducteur avec présence de quelques lentilles résistantes très réduites, mais vers le Nord, nous rencontrons des zones conductrices intercalées entre deux niveaux résistants en surface et en profondeur.

Les terrains résistants en surface et subsurface correspondent aux formations d'âge plio-quaternaire qui sont des sables, argiles calcaires lacustres et /ou grès. Puis les formations conductrices sont attribuées aux marnes.

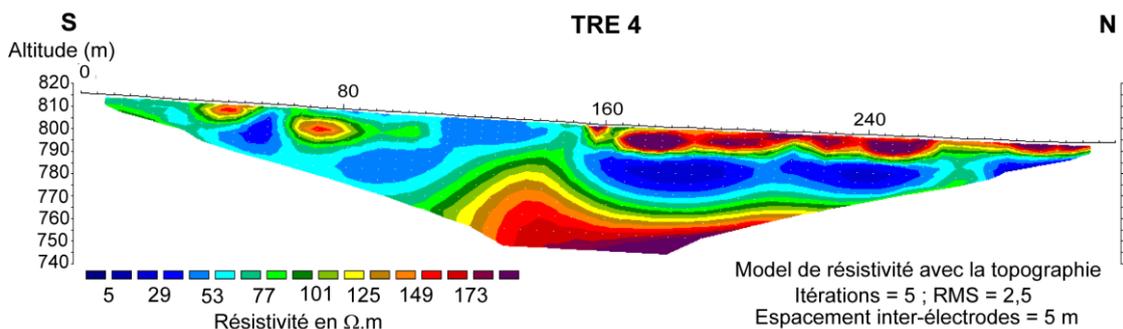


Figure 7 : coupe de tomographie électrique TRE4

4.6 Pour la coupe du profil TRE5

A partir de la coupe présentée au TRE5 (Figure 8), le terrain prospecté est caractérisé par l'existence des terrains résistants et conducteurs. Comme au profil TRE4, le terrain est conducteur vers la partie sud à cause de la remontée des argiles rouges triasiques, et devient de plus en plus résistant vers le Nord de la zone d'étude. Au centre du profil au point $x = 160\text{m}$, nous observons l'effet des formations résistantes situées en profondeur en provoquant une symétrie des formations conductrices de part et d'autre. En termes de géologie, les formations résistantes pourraient correspondre aux calcaires dolomitiques du Lias. Concernant les formations conductrices rencontrées sont généralement à des marnes du Miocène.

Dans la partie nord du profil TRE5, les terrains résistants rencontrés en surface peuvent être attribués aux formations du Plio-quaternaire qui surplombent des marnes du Miocène.

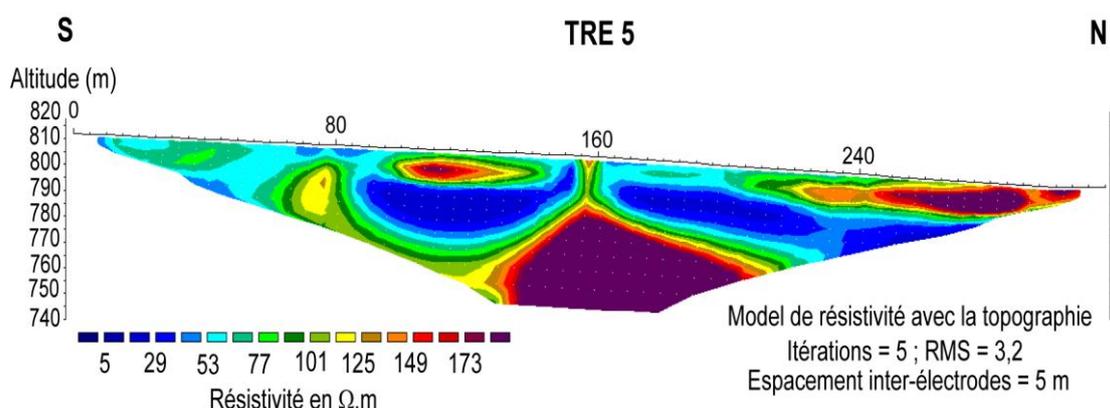


Figure 8 : coupe de profil de tomographie électrique

4.7 Pour la coupe du profil TRE6

La coupe du profil TRE6 (Figure 9), montre l'existence des formations conductrices allongées presque le long du profil. Au niveau du centre du profil TRE, il montre l'existence d'une couche résistante (supérieure à 100 Ohm.m), située à une profondeur d'environ 40m, et qui remonte progressive vers le Nord et devient très résistante à une distance de 260m de début du profil.

En se basant sur les données géologiques et les coupes géoélectriques établies dans la zone d'étude, nous pourrions ressortir les informations suivantes:

Les formations conductrices décelées au niveau de ce profil correspondent à un complexe hétérogène d'âge Mio-Plio-Quaternaire ;

Les formations résistantes profondes, sont attribuées aux calcaires dolomitiques du Lias.

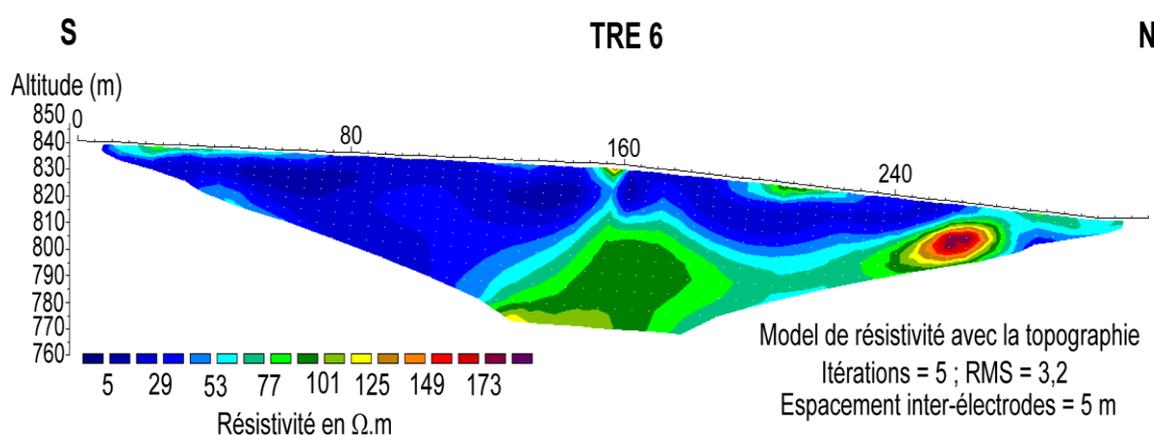


Figure 9 : coupe de profil de tomographie électrique TRE6

4.8 Pour la coupe du profil TRE7

La coupe du profil TRE7 (Figure 10), a été réalisé dans une zone connue par l'absence des calcaires du Lias et aussi au droit d'un forage d'eau, caractérisé par une forte salinité du fait de la présence des niveaux argileux salifères. Donc le but de ce profil est de mettre en évidence l'effet de la salinité sur la résistivité du sous sol par tomographie électrique.

Selon l'observation du profil TRE7, il est subdivisé en deux grandes tranches caractérisées par un contraste de résistivité électrique important, l'une conductrice étalée le long du profil et sur une grande épaisseur, et l'autre résistante localisée vers le centre du profil.

A partir des données lithologiques du forage F4 située au niveau de la zone prospectée, les niveaux conducteurs rencontrés sont liés à des formations mio-plio-quatérnaires peu épaisses suivis par des argiles rouges gypsifères du Trias; pour les niveaux résistants de profondeur, ils sont attribués aux formations basaltiques du Trias.

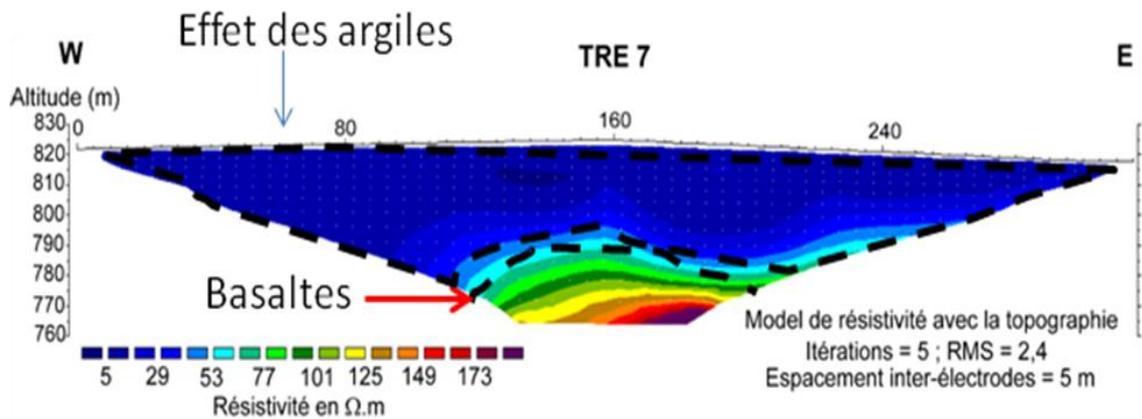


Figure 10 : coupe de profil de tomographie électrique TRE7

4.9 Pour la coupe du profil TRE8

La coupe présentée ci-dessous (figure 11) est caractérisée par une hétérogénéité des formations (conductrices et résistantes).

A partir de la surface du profil jusqu'à 50m de profondeur, une alternance de couches conductrices et résistantes correspondent au Plio-quatérnaire;

Une anomalie très conductrice apparaît au sein de cet ensemble superficiel à 80m du début du profil

Une couche très résistante a été détectée à partir de 50 à 125m de profondeur, cette couche correspond géologiquement à des calcaires liasiques, contrairement au profil précédent cette couche résistante ne semble pas être affectée par des anomalies conductrices.

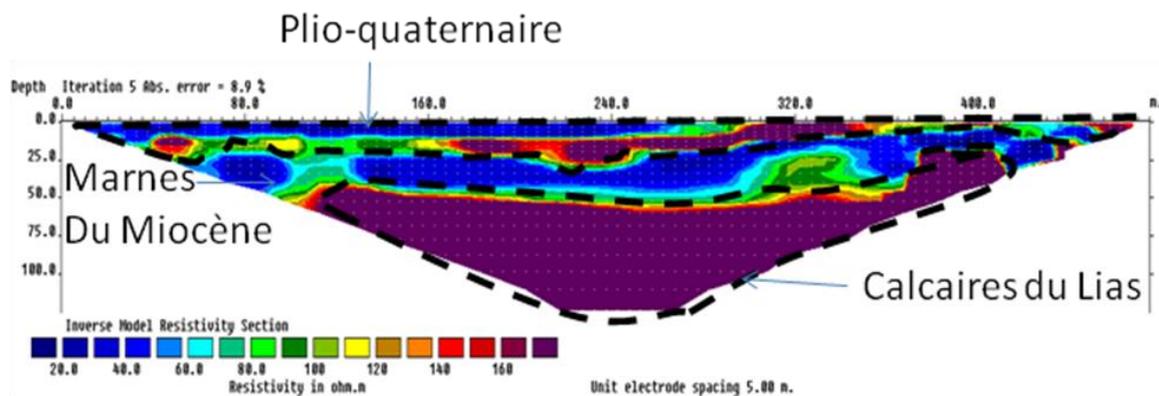


Figure 11: coupe de profil de tomographie électrique TRE8

V. Synthèse De La Tomographie Electrique

L'application de la tomographie électrique dans la zone prospectée a permis de mettre en évidence une imagerie 2D du sous sol. La corrélation entre les profils TRE1, TRE4 et TRE5 réalisés en parallèle a permis de fournir les informations suivantes (Figure 12) :

Présence d'une anomalie conductrice correspond à une faille probable noté faille 4, et qui pourrait constituer un axe de drainage de l'eau infiltré souterraine;

En dehors de cette anomalie remarquable, le terrain est hétérogène et constitué des formations conductrices et résistantes.

Au niveau des profils TRE4 et TRE8, deux anomalies conductrices ont été mises en évidence et sont alignées suivant une direction NS. La corrélation nous a donnée l'existence probable d'une faille ou fracture (Faille 5) qui pourrait drainer les eaux vers la source Ain Aghbal (figure 13).

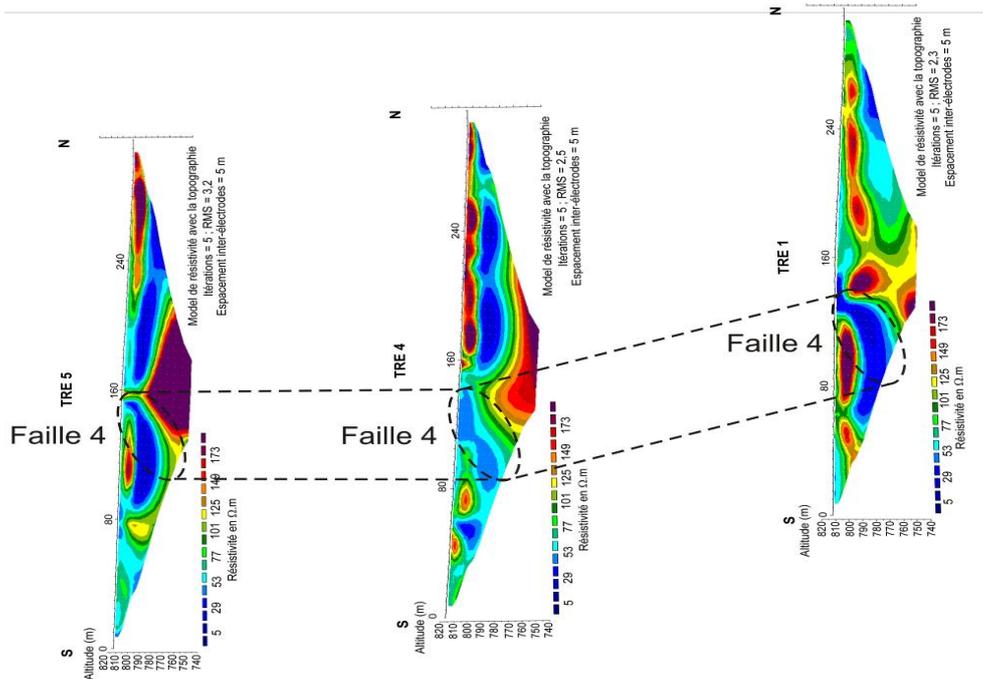


Figure 12 : Corrélation spatiale des profils TRE1, TRE4 et TRE5

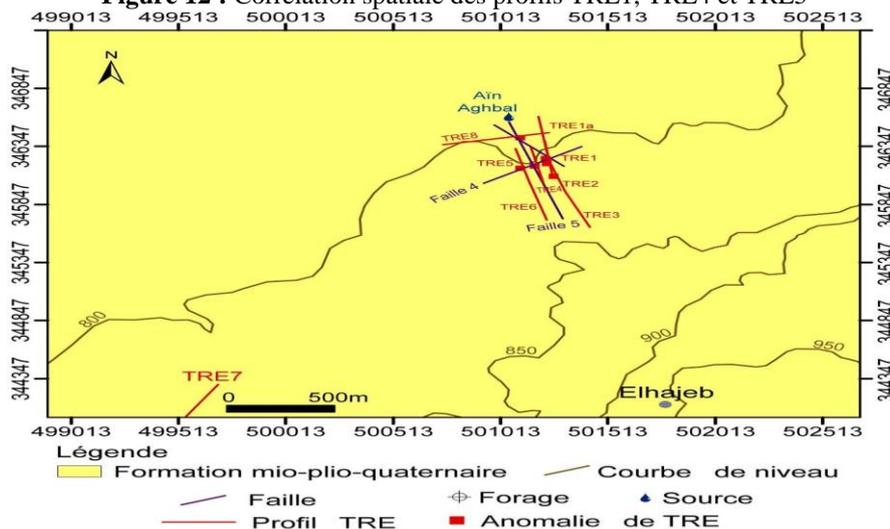


Figure 13 : Carte de synthèse de la tomographie de résistivité électrique

VI. Conclusions

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.

La méthode de la tomographie électrique investie dans ce travail a donnée des résultats forts intéressants, en mettant en évidence la structuration du sous sol du piedmont et permettant la cartographie d'un certain nombre d'anomalies interprétées en failles et zones de fracturation, favorisant la circulation préférentielle des eaux souterraines depuis le Causse calcaire d'El Hajeb en direction de la plaine de Saïss.

Le complexe hétérogène mis en évidence en surface, est attribué aux formations d'âge plio-quaternaires (sables, argiles, calcaires lacustres et grès);

Les formations conductrices rencontrées, correspondant soit aux marnes du Miocène comme ils pourraient attribuées éventuellement aux formations argileuses triasiques;

La présence aussi des formations résistantes, reflétant la présence parfois des formations calcaires du Lias et parfois la présence des basaltes du Trias;

Bibliographie

- [1]. **ABBREGO A.-M., (2007)**. Application des méthodes géophysiques à la détection des sites précolombiens dans la région centrale de Panama et paramétrisation géoarchéologique dans le site hispanique de Panama Viejo. Thèse de doctorat, Univ. Paris 6, 143p.
- [2]. **AL-FARES W., BAKALOWCZ M., ALBOUY Y., VOULLAMOZ, DUKHAN M., TOE G. ET GUERIN R., (2001)**. Contribution de la géophysique à l'étude d'un aquifère karstique. Exemple : le site karstique du lamalou. Actes du 3ème colloque de Géofcan Orléans, 43-4.
- [3]. **BATES C.R. ET ROBINSON R., (2000)**. Geophysical surveys for groundwater modelling of Coastal Golf Courses. EAGE 62nd Conference and Technical Exhibition – Glasgow, Scotland, 29 May – 2 June, 2000.
- [4]. **BARKER R.D., (1996)**. The application of electrical tomography in groundwater contamination studies, EAGE 58th Conference and Technical Exhibition Extended Abstracts, P082.
- [5]. **BENAMARA A., SAHBI H., ESSAHLAOUI A., BOUALOUL M., ROUAI M. (2005)**. Apport de la géophysique sur l'écoulement profond au niveau des alluvions d'Asrir (région de Tinjdad). 18emeColloque sur la dynamique des bassins sédimentaires. Session du 5 - 6 novembre 2005, FES (Maroc).
- [6]. **BOUALOUL M., BOUTALEB S., GHANDI R., (2006)**. Prospecting strategy for water borehole implantation in discontinuous media under dry climate: a case study from Moroccan Sahara. International symposium on drylands ecology and human security. Doha 2006.
- [7]. **BOUTALEB S., BOUALOUL M., BOUCHAOU L., OUDRA M., (2008)**. Application of remote sensing and surface geophysics for groundwater prospecting in a hard rock terrain, Morocco. Applied Groundwater studies in Africa. IAH, British Geological Survey. V. 13, p 215-231.
- [8]. **QARQORI KH., ROUAI M., MOREAU F., SARACCO G., HERMITTE D., BOUALOUL M., DAUTEUIL O , BIESSY G., SAHBI H., (2009)**. Electrical resistivity tomography of karstic aquifer of Bittit spring (Middle Atlas, Morocco). Geophysical Researche, volume 11, n°8225, EGU Wien, Austria 2009.