

Contribution De La Télédétection, De La Tomographie Electrique et De L'analyse De La Fracturation A La Compréhension Du Transfert Des Eaux souterraines Causse - Plaine : Cas Du Complexe Sourcier Ain Maarouf-Ain Boujaoui, Maroc.

A. Allaoui¹, M. Boualoul¹, H. El Ouardi¹, M. Habibi¹, A. Muzirafiti¹,
H. Ouhadache¹

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

Corresponding Author: A. Allaoui

Résumé : Dans la partie occidentale de la grande unité structurale du Moyen Atlas tabulaire, le Causse d'Agourai, constitué essentiellement par des terrains calcaires dolomitiques d'âge liasique, est caractérisé par une forte fracturation et une karstification intense. Il présente à son passage à la plaine de Saïss une série de sources d'eau avec des débits assez importants (Ain Maarouf, Ain Boujaoui, ...). Ces sources constituent depuis longtemps la principale source d'alimentation du bassin de Saïss en eaux souterraines.

L'étude géophysique vise à comprendre le processus du transfert d'eau et une meilleure cartographie des axes d'écoulement des eaux souterraines entre le Causse et la plaine de Saïss via la réalisation de profils de tomographie électrique de direction E-W perpendiculaires au sens d'écoulement majeur. Un premier profil à l'amont d'Ain Maarouf, un 2^{ème} à l'amont d'Ain Boujaoui et le 3^{ème} profil entre les deux. Les profils de tomographie ont été réalisés avec le dispositif dipôle-dipôle et un espacement de 5m entre les électrodes. Cette étude a été enrichie par une analyse des images satellites pour l'extraction des linéaments et par des mesures structurales de la fracturation aux alentours des sources.

La télédétection, l'analyse structurale et l'investigation géophysique par tomographie électrique dans cette partie occidentale du causse ont permis une bonne compréhension du processus de transfert des eaux souterraines depuis le causse d'Agourai vers la plaine de Saïss. Ce transfert se fait principalement le long de grandes fractures ou karst affectant les calcaires dolomitiques du Lias et constituant des axes de drainage préférentiel.

Mots clés: Causse d'Agourai, plaine de Saïss, télédétection, fracturation, tomographie de résistivité, transfert d'eau souterraine.

Abstract: In the western part of the great structural unit of the tabular Middle Atlas, the Agourai Causse, consisting essentially of dolomitic calcareous soils of liasic age, is characterized by a strong fracturing and intense karstification. It presents at its passage to the plain of Saïss a series of water sources with fairly large flows (Ain Maarouf, Ain Boujaoui, ...). These springs have long been the main source of food in the Saïss Basin in groundwater.

The geophysical study aims to understand the process of water transfer and a better mapping of the groundwater flow axes between the Causse and the plain of Saïss via the realization of EW electrical directional tomography profiles perpendicular to the direction of major flow. A first profile upstream of Ain Maarouf, a 2nd upstream of Ain Boujaoui and the 3rd profile between the two. The tomography profiles were made with the dipole-dipole device and a spacing of 5m between the electrodes. This study was enriched by an analysis of satellite images for the extraction of lineaments and by structural measurements of fracturing around sources.

Remote sensing, structural analysis and geophysical investigation by electric tomography in this western part of the causse allowed a good understanding of the process of groundwater transfer from the Agourai causse to the Saïss plain. This transfer is mainly the long of large fractures or karst affecting the lias dolomitic calcareous and constituting preferential drainage axes.

Key words: Agourai plateau, Saïss plain, remote sensing, fracturing, resistivity tomography, groundwater transfer.

Date of Submission: 03-01-2018

Date of acceptance: 31-01-2018

I. Introduction

Les sources d'eau d'Aïn Maarouf et d'Aïn Boujaoui constituent, depuis longtemps, la principale source d'alimentation du bassin de Saïss en eaux souterraines depuis le Causse Moyen Atlasique occidental ou Causse d'Agourai, à l'instar des sources de Bittit et Ribaa au pied du Causse Moyen Atlasique central ou Causse d'Ifrane. Le mécanisme de transfert des eaux souterraines du causse vers la plaine de Saïss dans ce dernière partie du Causse a fait l'objet de nombreuses études structurales, géophysiques et hydrogéologiques (Qarqori et al. 2015, Bouikbane et al, 2015). Cependant la partie orientale du Causse est mal connue et aucune étude n'a été faite sur le processus de transfert des eaux depuis le Causse vers la plaine de Saïss.

L'objectif de cette étude est de contribuer à la compréhension de ce processus de transfert à travers une étude multidisciplinaire englobant une étude géophysique par tomographie électrique, une analyse structurale par traitement d'images satellitaire et mesures de la fracturation aux environs du complexe sourcier Maarouf-Boujaoui.

II. Présentation de la zone d'étude

1. Géographie

Le complexe sourcier Maarouf-Boujaoui est situé au pied du Causse Moyen Atlasique orientale dit Causse d'Agourai, il se à mi-chemin entre les villes d'EL Hajeb et d'Agourai et à une vingtaine de kilomètres au Sud de la ville de Meknès (figure 1).

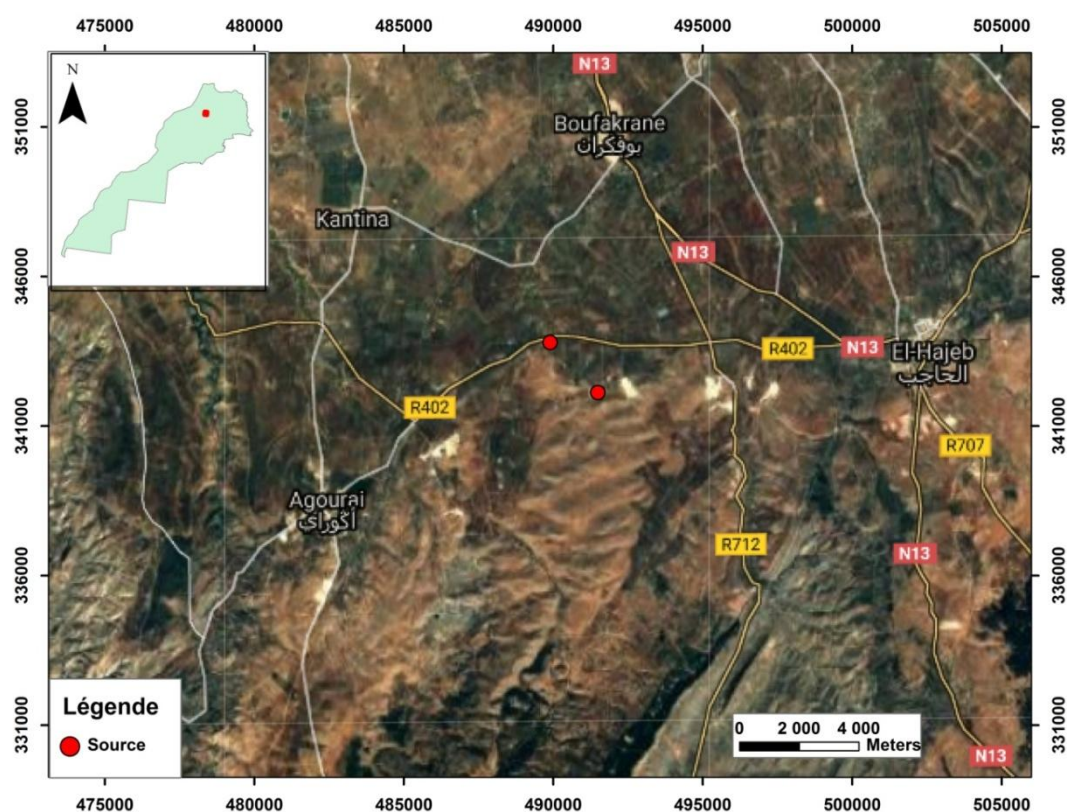


Figure 1 : situation de la zone d'étude

2. Géologie :

Les principales formations géologiques rencontrées dans le causse d'Agourai sont de bas en haut (figure 2 et 3):

- Les schistes et les quartzites à intercalations de bancs gréseux et de calcaires d'âge Paléozoïque ; ils affleurent dans l'oued EL Kell qui constitue une limite géomorphologique entre ce causse et le Maroc central hercynien ;
- Au-dessus vient le Trias constitué essentiellement d'argiles rouges inférieures gypsifères et salifères (dépôts évaporitiques) surmontées par des basaltes doléritiques puis des argiles rouges supérieures à passées gypseuses ;
- Les calcaires dolomitiques d'âge liasique (Carixien) caractérisés essentiellement par une forte fracturation et une karstification intense. L'épaisseur de cette formation dépasse les 200m.

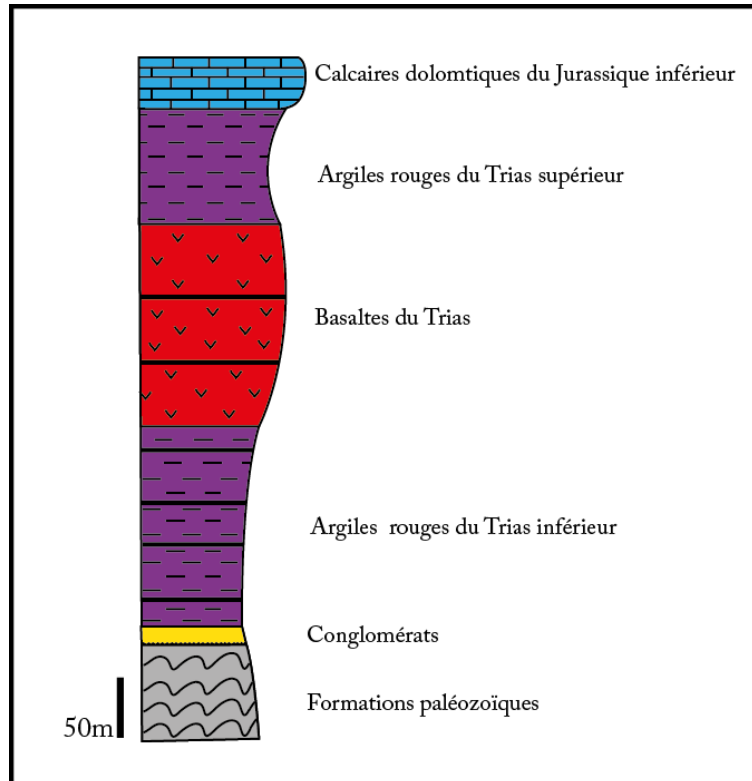


Figure 2 : log stratigraphique donnant la succession des formations géologiques rencontrées dans le causse d'Agourai

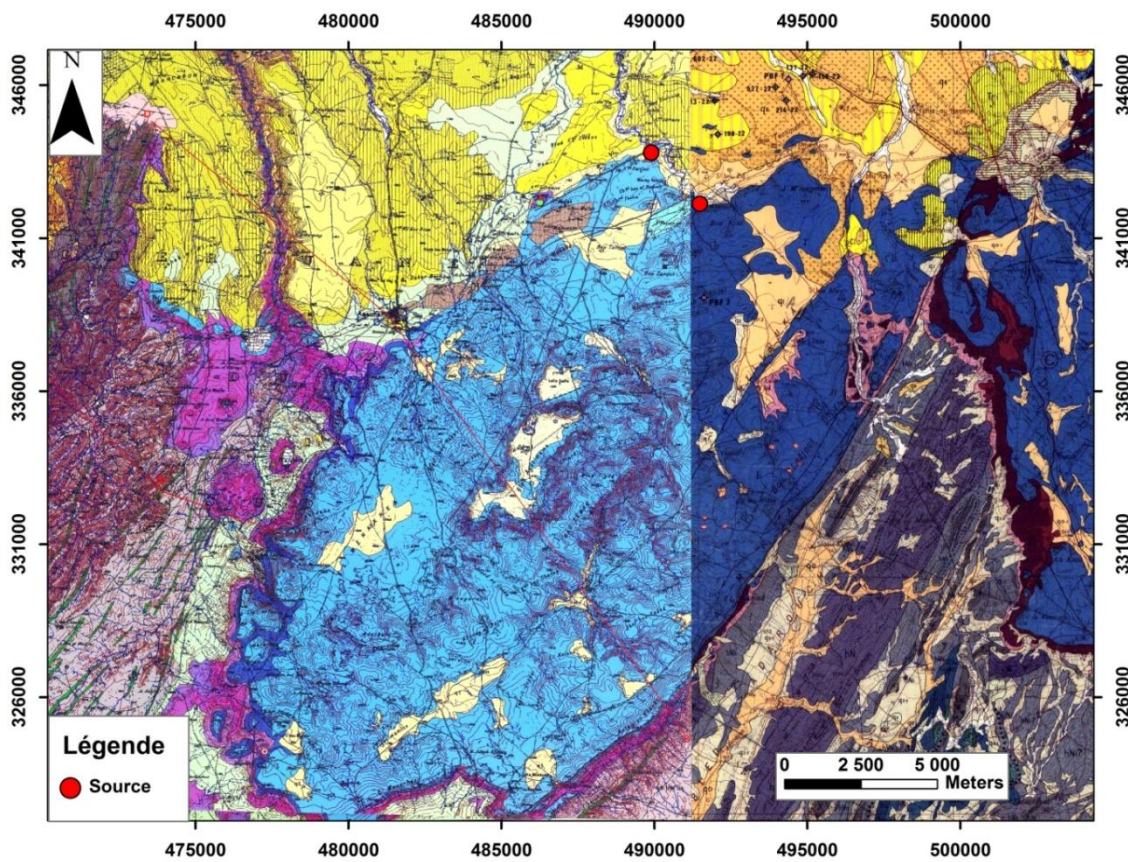




Figure 3 : Extrait de la carte géologique d'Agourai et d'Elhajeb montrant la géologie du cause d'Agourai

III. Méthodologie

Pour une meilleure cartographie des axes d'écoulement des eaux souterraines entre le Causse d'Agourai et la plaine de Saïss, une approche multidisciplinaire a été adoptée et comprend une analyse des images satellitaires type Sentinel-2A, acquise le 16 Septembre 2015, qui enregistrent les images dans les parties du spectre électromagnétique allant du visible jusqu' au moyen infrarouge avec une résolution spatiale de 10, 20 et 60 mètres; une campagne de mesures de la fracturation au niveau du complexe sourcier et la réalisation de trois profils de tomographie électrique de direction E-W perpendiculaires aux directions principales des grandes structures géologiques régionales. Les profils de tomographie ont été réalisés avec le dispositif dipôle-dipôle avec un espacement de 5m entre électrodes. Le choix de ce dispositif et de la distance inter-électrodes est dicté par la grande pénétration de ce dispositif et à sa meilleure résolution quant à la détection des fractures et des karsts.

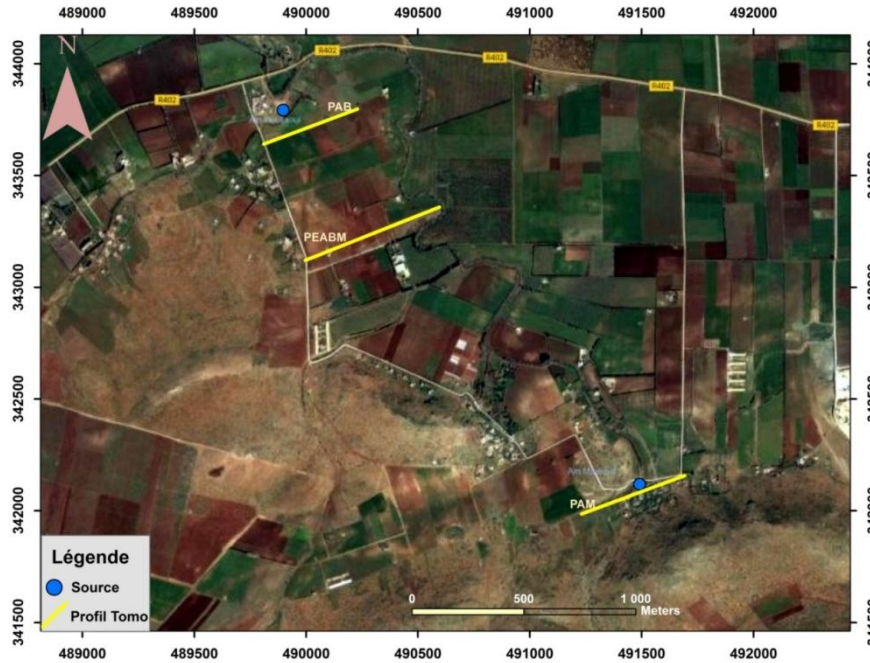


Figure 4 : situation des profils de tomographie électrique sur image satellitaire
 PAM : profil Ain Maarouf ; PAB : profil Ain Boujaoui ; PEABM : profil entre Ain Boujaoui et Maarouf

IV. Résultats et discussion

Les images satellitaires type Sentinel2A sont des images multispectrales couvrant une grande région avec une résolution spatiale assez haute pour différencier les différentes structures. Le traitement de ces images par les logiciels GEOMATICA et ERDAS et la classification des linéaments révèle la présence des grands linéaments correspondant aux failles régionales (faille d'Adarouch, faille de Timchouka, Faille d'Agouraï,...) de direction NE-SW conformes à la direction hercynienne. Un réseau de fracturation est mis en évidence et comprend trois grandes familles, une famille NE-SW (représentée par 68%), une deuxième famille NW-SE (18%) et une troisième famille moins abondante (6%). Ces structures sont concentrées dans la partie centrale et sur les bordures Nord à Nord-ouest et Sud-est de la zone d'étude. Cet état structural favorise l'infiltration des précipitations et le drainage des eaux souterraines mais aussi l'intensification des processus karstiques des roches carbonatées et le développement des différentes formes karstiques telles que les dolines, avens et poljés.

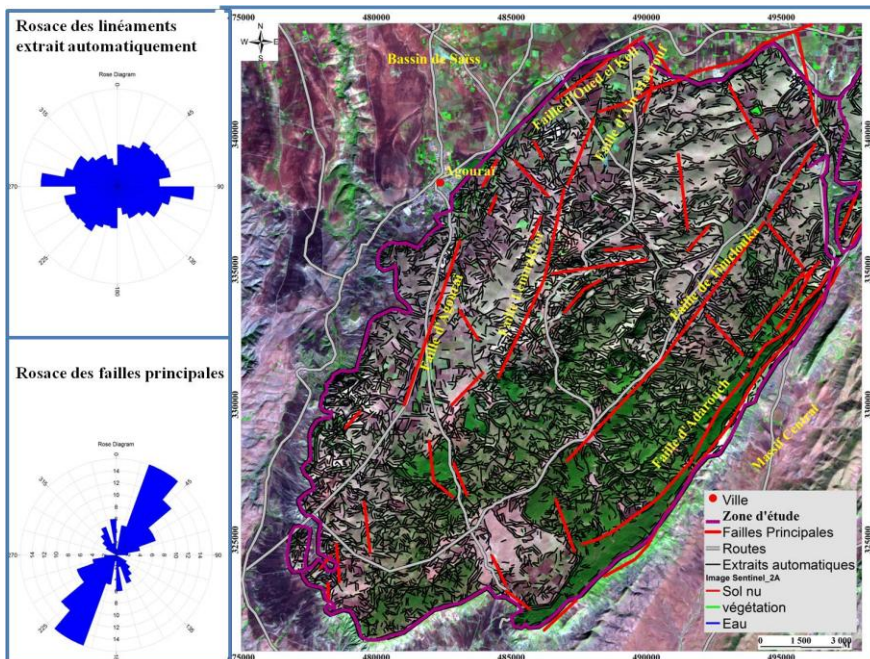


Figure 5 : Carte de la fracturation dans le Causse d'Agourai superposée sur image satellite Sentinel-2A

L'analyse de la fracturation autour de la source d'Ain Maarouf, a consisté d'abord à un levé systématique des directions des fractures au niveau de la crête calcaire liasique qui surplombe la source et leur représentation sous forme de rosace directionnelle à l'aide du programme GEOROSE version 0.5.1 qui permet d'identifier les orientations des différentes familles ainsi que la densité des fractures.



Figure 6 : Photos montrant les fractures au niveau d'Ain Maarouf

La rosace obtenue (figure 7) permet de distinguer deux grandes familles de fractures orientées respectivement NW-SE et NE-SW (figure 6); ces directions, conformes aux directions majeures identifiées par imagerie satellitaire, peuvent résulter du jeu normal d'une faille NE-SW à l'origine de l'effondrement du compartiment NW en direction du bassin de Saïss.

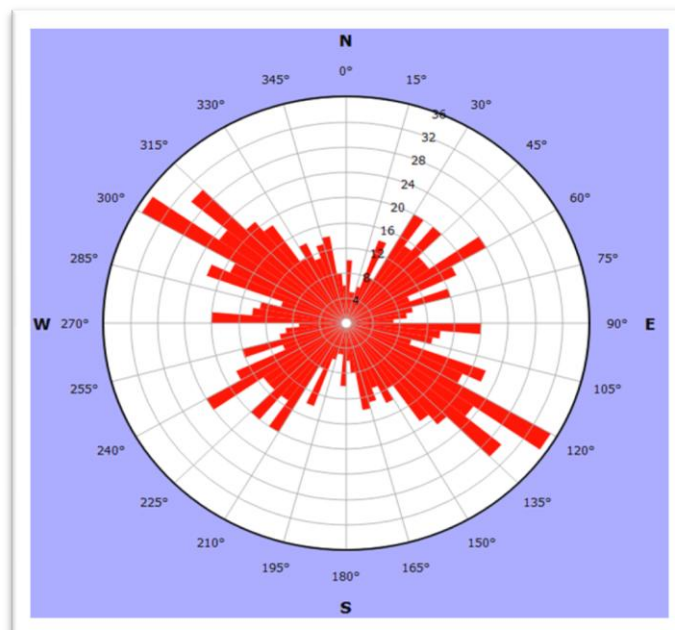


Figure 7: Rosace directionnelle générale des fractures mesurées au niveau de la source Ain Maarouf.

L'inversion des données électriques par le logiciel Res2Dinv permet d'avoir une image 2D de la distribution des résistivités vraies du sous-sol. Au niveau de la source d'Ain Maarouf, le profil de tomographie montre deux anomalies conductrices dans un contexte très résistant qu'on peut interpréter en termes de karsts ou failles affectant les calcaires dolomitiques du Lias et drainantes des eaux souterraines, la profondeur de ces discontinuités dépasse les 60m. Le profil de la source Ain Boujaoui montre un panneau assez résistant à l'est qui passe vers l'ouest à un bloc conducteur ; cette discontinuité électrique latérale des niveaux résistants peut être interprétée par l'existence d'une faille presque verticale responsable de l'effondrement du bloc résistant vers l'ouest. Le profil réalisé entre ces deux derniers a permis de mettre en évidence une assez large discontinuité électrique qui peut correspondre à la continuité vers le sud de la faille identifiée sur le profil d'Ain Boujaoui.

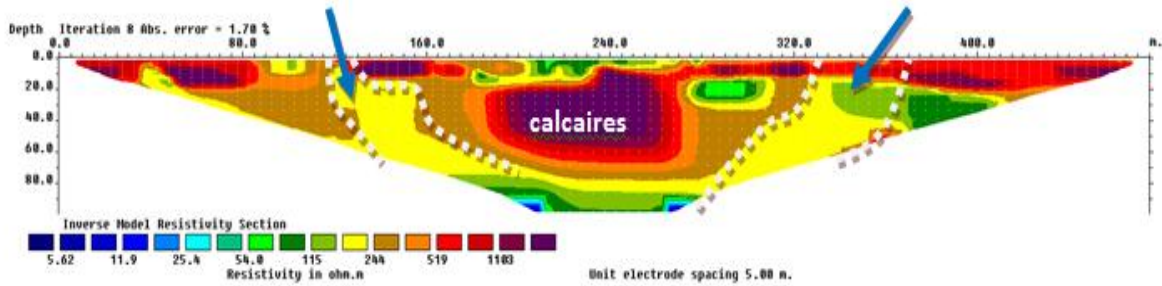


Figure 8 : profil de tomographie électrique d'Ain Maarouf

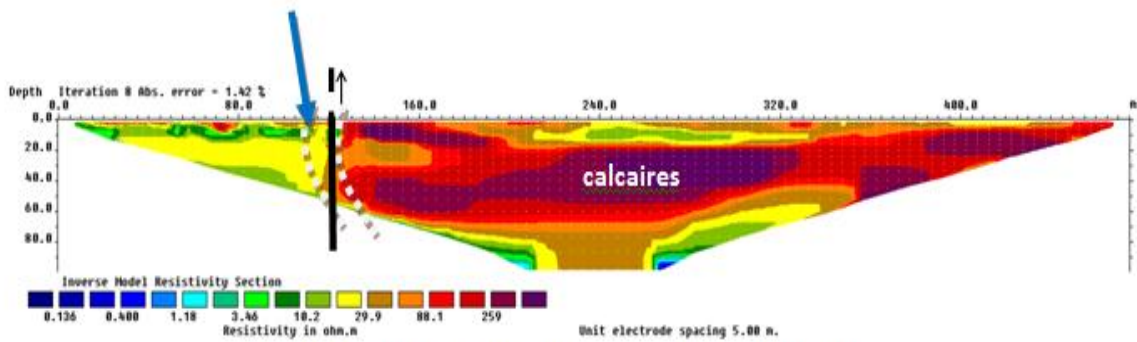


Figure 9 : profil de tomographie électrique d'Ain Boujaoui

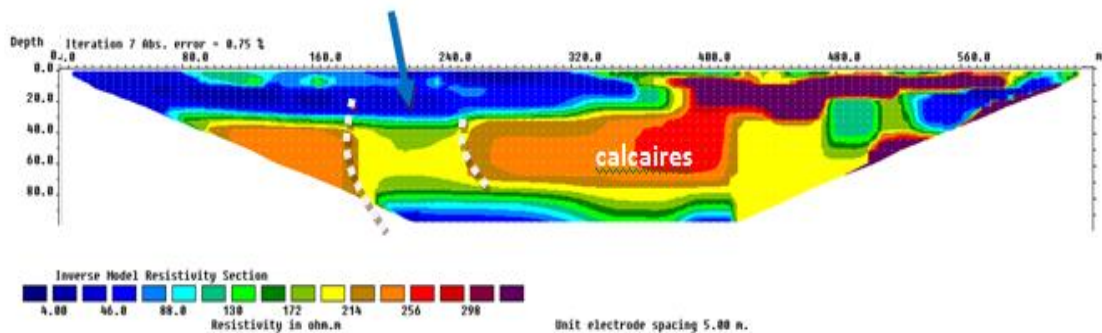


Figure 10 : profil de tomographie électrique entre Ain Maarouf et Ain Boujaoui

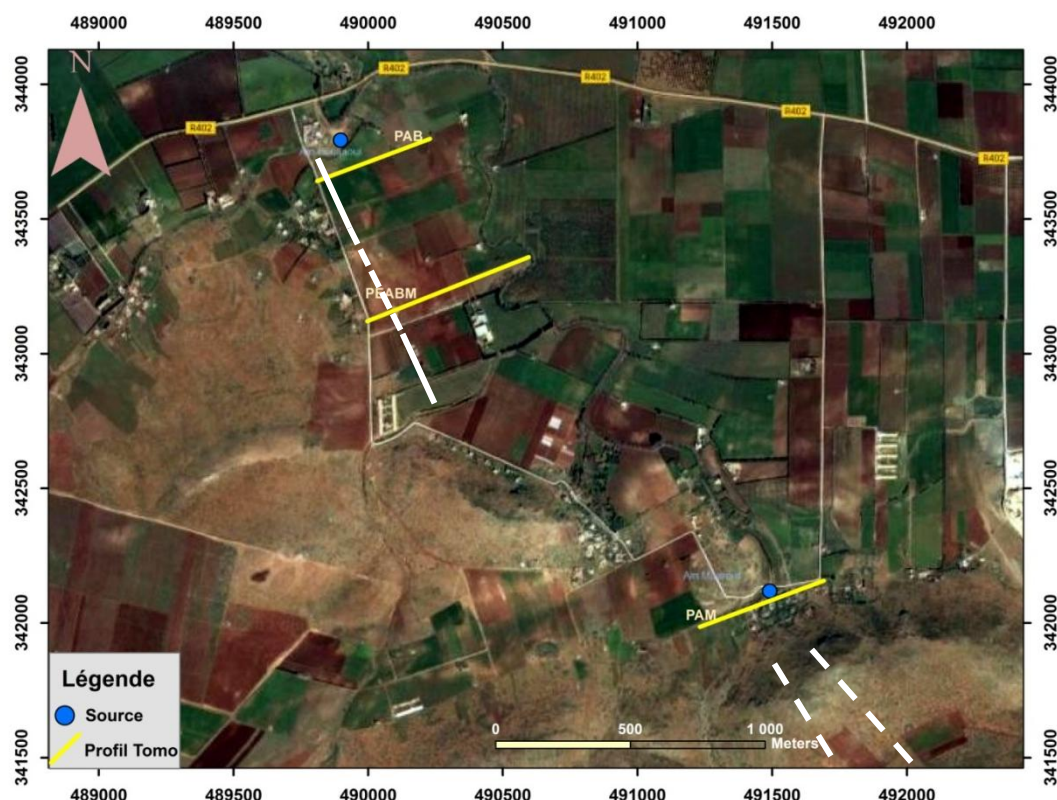


Figure 11 : superposition des discontinuités électriques sur image satellitaire

La superposition des discontinuités électriques sur l'image satellitaire permet de retrouver la direction NW-SE identifiée auparavant et qui constitue le linéament principal drainant les eaux souterraines depuis le cause vers la plaine de Saïss.

V. Conclusions

La combinaison de l'investigation géophysique par tomographie électrique à l'analyse des images satellitaires et de la fracturation dans cette partie occidentale du cause a permis d'obtenir une imagerie 2D de la distribution des résistivités dans le sous-sol, et mettre en évidence les directions dominantes de la fracturation aux alentours du complexe sourcier Ain Maarouf-Ain Boujaoui. Cette étude a contribué à la compréhension du processus de transfert des eaux souterraines depuis le cause d'Agourai vers la plaine de Saïss.

Références

- [1] Bouikbane H. 2015. Apport d'un couplage géophysique et hydrochimique à l'étude du transfert naturel des écoulements souterrains entre le cause calcaire d'El Hajeb-Ifrane et la plaine de Saïss (MAROC). Thèse doctorat, université My Ismaïl. 175p.
- [2] Bouya N. (2014) – utilisation des données géophysiques aéroportées magnétique et spectrométriques dans la cartographie géologique de la partie NE du massif central et des causes moyen-atlasiques. Thèse d'université Fac. Meknès Maroc, 176.
- [3] Bouya N., El Ouardi H., Habibou E.H., Mercier E., et Ansan V. (2013) – Interprétation géologique des données aéromagnétiques et leur utilisation pour la cartographie des structures du plateau d'Agourai (Moyen Atlas tabulaire, Maroc). Africa Géoscience Review, vol.20, N 1, PP. 13-20.
- [4] Deslandes S. et Gwyn Q.H.J. 1991 : Evaluation de SPOT et SEASAT pour la cartographie des linéaments : comparaison basée sur l'analyse du spectre de Fourier. Canadian Journal of Remotesensing Vol n°2, pp. 98-110.
- [5] Qarqori Kh. 2015. Contribution à l'étude du réservoir discontinu et karstique des causes moyen-atlasiques et de sa jonction avec le bassin de Saïss par télédétection spatiale et imagerie géophysique. Thèse doctorat, université My Ismaïl. 183p.
- [6] Sefrioui S. 2013. Caractérisation Hydro-Structurale et Quantification des Ressources en eau Souterraine dans le bassin de Sebou-Moroc: apport des Outils Isotopiques et du SIG. Thèse doctorat, université My Ismaïl. 229p.

A. Allaoui "Contribution De La Télédétection, De La Tomographie Electrique et De L'analyse De La Fracturation A La Compréhension Du Transfert Des Eaux souterraines Cause - Plaine : Cas Du Complexe Sourcier Ain Maarouf-Ain Boujaoui, Maroc." IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG) 6.1 (2018): PP 12-19.