

Identification des fractures et de l'anisotropie directionnelle par méthodes électromagnétiques basses fréquences en milieu pseudo-karstique

F. Khaldouï⁽¹⁾, M. Djeddi⁽¹⁾, Y. Djediat⁽¹⁾ et A. Ydri⁽¹⁾
USTHB/FSTGAT laboratoire de géophysique

Khalfati@yahoo.fr

Résumé

Un levé électromagnétique de très basse fréquence (EM31, VLF et VLF-R) a été réalisé dans une région située au Nord Est d'Alger. Cette dernière est caractérisée par des formations pseudo-karstiques masquées par une couverture quaternaire. L'EM31 à source contrôlée a permis d'explorer les couches superficielles, les méthodes VLF et VLF-R multifréquentielles utilisent les stations de radio puissantes, qui fonctionnent dans la bande de fréquences de 15 à 30 kHz, elles sont utilisées pour localiser les zones de fracture, leur extension et orientation relative à diverses profondeurs d'investigation. Par ailleurs, des mesures sur des fractures à l'affleurement en de très nombreux endroits ont révélé des directions N60° et N110°.

L'objectif de ce travail est de pouvoir relier la fracturation visible à l'affleurement avec celles identifiées en profondeur à partir des mesures électromagnétiques basses fréquences.

Afin de s'affranchir de l'effet de l'anisotropie apparente générée par la polarisation du champ primaire, la méthode des invariants, utilisant deux émetteurs perpendiculaires, a été appliquée à l'ensemble des données de résistivité apparente en VLF-R.

Les données VLF ont été d'abord traitées à l'aide du filtre de Fraser et de Karous-Hjelt suivie d'une inversion en 2D.

L'interprétation de l'ensemble des données électromagnétiques ont révélé un système de fracture orienté entre les directions N60° et N125°.

Mots-clés : Fracturation - Karstification - Anisotropie - Electromagnétique - VLF- VLF-R- EM31-Alger

I. INTRODUCTION

Le milieu karstique est couramment le siège d'une fracturation permettant l'infiltration des eaux et entraînant le phénomène de dissolution. La complexité géologique du milieu nécessite toujours une exploration approfondie du sous sol, À cet effet, on a recours aux méthodes géophysiques électromagnétiques en domaine fréquentielles [3, 2]. Les zones fracturées et karstifiées peuvent être facilement identifiées par l'existence d'un fort contraste de résistivité entre la roche saine et les zones fracturées grâce à des sondages électromagnétiques VLF (réel et imaginaire) et VLF-R (résistivité et phase). La profondeur d'investigation de ces sondages n'excède pas les 40 m. Grâce à un autre système électromagnétique mesurant également la résistivité apparente (et son inverse la conductivité apparente) de la roche a des faibles profondeurs (< à 6m).

Notre objectif est de tester les méthodes géophysiques électromagnétiques pour la caractérisation de la géométrie et des propriétés des discontinuités majeures (fractures) dans des conditions géologiques complexe où la karstification déjà été mise en évidence par tomographie de résistivité électrique (ERT) en 2D et 3D [3].

II. CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE PROSPECTEE

Les mesures électromagnétiques ont été réalisées sur 2 sites proches situés à l'ouest d'Alger, destinés à la construction de bâtiments résidentiels à plusieurs étages. Au niveau de ces sites, nous avons identifiés des pseudokarsts, dans des formations quaternaires du Tyrrhénien [4, 5]. Ces pseudokarsts résultent d'une forme d'érosion par dissolution des ciments calcaires qui sont les liaisons primaire et secondaire des grès dunaires. Il existe deux types de pseudokarst dans cette région (fig.1) :

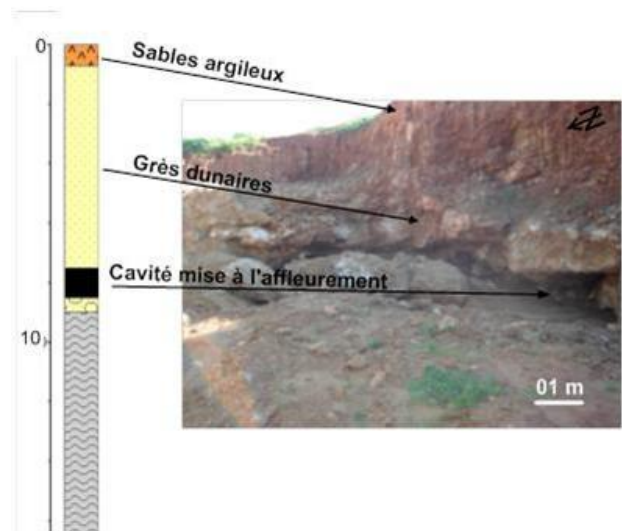


Figure 1 : Colonne lithologique type de la région étudiée et vue des formations mise à l'affleurement

- les exokarsts remplis par des sols rouges superficiels (souvent anciennes dolines creusées en surface),
- les endokarsts qui correspondent à des formes semi-profondes qui correspondent à des galeries et à des puits [6]. Les pseudokarsts que nous avons définis s'organisent souvent en un système de cavités dans des orientations sont très proches de la fracturation relevée en surface. La surrection des terrasses marines quaternaires dont font partie les formations étudiées a favorisé les circulations souterraines suivant ce réseau de fracture et ce qui lie la création des galeries à la néotectonique. Des mesures sur des fractures à l'affleurement en de très nombreux endroits ont révélé des directions de fractures N60° et N110° (fig. 2).



Figure 2: fractures à l'affleurement a) N60° b) N110°

III. MATERIELS ET METHODES

Les principales techniques électromagnétiques employées pour la mise en évidence de cette fracturation et de l'anisotropie directionnelle sont; EM31, VLF et VLF-résistivité multifréquentielles [1, 2]. Le système EM31 de Geonics a été utilisé en configuration HCP, son principe de base est largement décrit dans la littérature [7, 8].

Nous avons défini un indice d'anisotropie qui correspond au rapport de deux mesures de conductivité apparente, effectuées dans deux orientations perpendiculaires. Cet indice permet la description qualitative de l'état de fracturation.

En VLF et VLF-R, quatre émetteurs ont été utilisés : GBR (16 KHz), FTA (16.8 KHz), NAA (24 KHz) et UMS (17.1 KHz). Les mesures de VLF et VLF-R sont effectuées avec l'instrument T-VLF (Iris Instruments). Afin de s'affranchir de l'effet de l'anisotropie apparente, la méthode des invariants [9] en VLF-R, utilisant deux émetteurs orthogonaux, a été appliquée à l'ensemble des données de résistivité apparente correspondant aux quatre émetteurs pris deux à deux.

IV. RESULTATS OBTENUS

Pour les mesures VLF et VLF-R, nous avons choisi, dans quatre directions différentes des émetteurs de très basses fréquences (16, 24, 16.8 et 17.1 kHz), afin d'obtenir des informations relatives à de grandes profondeurs d'investigation. L'analyse des valeurs de résistivité apparente (fig.3) obtenue lors de cette étude a permis l'identification des zones de résistivités différentes séparées par des forts gradients de résistivité assimilés à des fractures majeures. L'alignement des anomalies suggère de ces structures allongées, en relation probable avec les fractures. Ces structures ont une certaine largeur et que leur remplissage est constitué de matériaux résistants et parfois conducteurs.

Les résistivités très élevées sont obtenues avec l'émetteur NAA, Ce dernier est probablement parallèle à l'allongement des structures détectées, en polarisation E [1].

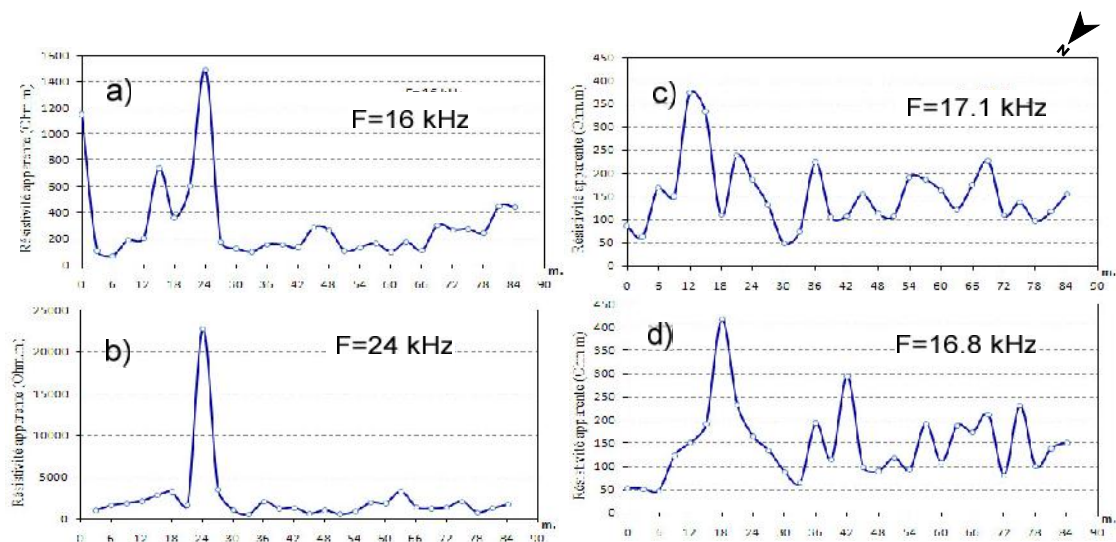


Figure 3 : Profils de résistivité mesurée en mode VLF-R, respectivement avec les émetteurs 16 kHz (a), 24 kHz (b), 17.1 kHz (c) et 16.8 kHz (d)

L'anisotropie de résistivité observée sur les deux sites provient probablement des réseaux de fractures naturelles. Les chutes de résistivités sont liées à l'épaisseur de la couche superficielle de sables argileux.

Les mesures VLF ont été traitées en utilisant la technique de filtrage de Karous-Hjelt [10]. L'utilisation de ce traitement a permis de calculer la densité de courant à différentes profondeurs. Cette densité a révélé la présence probable des points d'infiltration des eaux (fig.4) favorisant le drainage des particules fines vers les conduits de fractures.

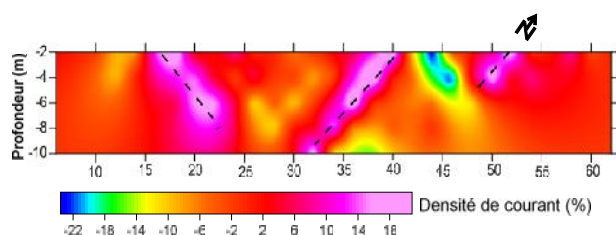


Figure 4 : Densité de courant obtenue le long d'un profil VLF du site 2. Les lignes en pointillés correspondent aux axes d'écoulements

La prospection EM31 a permis de caractériser les premiers mètres du sol, la conductivité apparente diminue lorsque l'épaisseur de la couche superficielle (sable limoneux) augmente et que la conductivité encore plus faible révèle une activité géologique importante.

V. CONCLUSION

Cette étude confirme les résultats obtenus avec l'imagerie électrique en 2D et 3D. Les zones de résistivité élevées identifiées à la position des cavités correspondent probablement à une accumulation de particules plus résistantes au niveau des pertes karstiques où elles peuvent également correspondre à l'amincissement de la couche superficielle de sables argileux. La méthode VLF reste très délicate à interpréter puisque les paramètres mesurés restent compliqués.

REFERENCES

[1] Fischer G., Quang B. V., Müller I., 1983. VLF ground surveys, a powerful tool for the study of shallow two dimensional structures, Geophysical. Prospecting, 31, 977-991.

[2] Fischer G., Schnegg P.-A., Ma J., Müller I., Burkhard M., 1987. Etude VLF-R du remplissage quaternaire de la vallée de Gastern (Alpes Bernoises, Suisse), Eclog. Geol. Helv., 80, 773-787.

[3] Khaldoufi F., Djeddi M. et Djediat Y. 2013. Identification et caractérisation des dissolutions pseudo-karstiques des calcaires gréseux par Imagerie électrique 2d et 3d à Ain Banihan, Alger Ouest. Bulletin du Service Géologique National Vol. 24, n° 2, pp. 151 - 161,

[4] Aymé, A. 1952. Le Quaternaire littoral des environs d'Alger, Actes du Congrès. Panafricain. de la préhistoire, Alger, II session, pp. 243-246.

[5] Betrouni, m. 1983. Le Pleistocène supérieur du littoral ouest algérois. Thèse 3 e université d'Aix-Marseille, 52 fig., XIII pl. h.t., 202 p.

[6] Delcaillau B., Reliefs et tectonique récente, Ed. Vuibert, Paris, 2004, 259 p.

[7] McNeill, J.D. 1980. Technical Note TN-6: Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers. Mississauga, Ontario, Canada: Geonics Ltd.

[8] McNeill, J.D. 1991. Use of electromagnetic methods for ground water studies. In Geotechnical and Environmental Geophysics, vol. 1, ed. S.H. Ward, 191-218. Society of Exploration Geophysics:

[9] Guerin, R., Tabbagh, A and Andrieux, P., 1994. Filed and/or resistivity mapping in MT-VLF and implications for data processing. Geophysics, vol 59, n°11, 1695-1712.