Apport de la magnétotellurique dans le diagnostic d'un ancien forage hydraulique situé au Sahara Septentrional

Bouzid, A.(1), Bougchiche, S. S.(1), Boukhlouf, W.(1), Abtout, A.(1), Guemache, M. (1), Bouyahiaoui, B. (1), Djadia, L.(1), Hamaï L. (1) and Meziane, E. (1)

(1) CRAAG, Route de l'Observatoire, BP 63 Bouzaréah, 16340, Alger
E-Mails a.bouzid@craag.dz

***Abstract*— Dans la présente étude, la magnétotellurique qui est une méthode géophysique passive sensible à la distribution dans le sous-sol de la résistivité électrique, a été employée pour diagnostiquer un ancien forage hydraulique profond. L'analyse et la modélisation des données magnétotelluriques obtenues lors d'une campagne de terrain réalisée en 2008 révèlent l'absence d'un conducteur pouvant traduire la signature électrique d'une cavité de dissolution.**

Mots clefs— magnétotellurique, forage, risqué, environnemental.

I. Introduction

L'écroulement des forages OKN32 et OKN32 bis de Haoud Berkaoui (W. de Ouaragla) et la création d'un cratère suite à l'effondrement d'une cavité formée par la dissolution d'une couche salifère du Sénonien inférieur par la remontée des eaux de la nappe aquifère albienne est sans conteste une catastrophe environnementale qui a marqué les esprits dans la région du Sahara septentrional. L'apparition en surface de fissures et de cavités d'effondrement près d'un forage hydraulique albien bouché près de la ville de Djamaa (W. d'El Oued) à environ deux cents de km au nord de Haoud Berkaoui fait craindre une autre catastrophe. En effet, il est suspecté la formation d'une cavité de dissolution au niveau de la couche salifère d'une épaisseur de 11 m dont le toit se situe à 936 m de profondeur par la remontée des eaux du réservoir albien le long du forage suite à un problème de cimentation et/ou de corrosion du tubage. Ainsi, il devient nécessaire de procéder rapidement au diagnostic de ce forage afin de prendre les mesures qui s'imposent pour éviter un grave problème environnemental. Aussi, la problématique pour la géophysique consiste donc à détecter depuis la surface, d'éventuels changements dans les propriétés physiques du sous-sol. L'existence d'une cavité de dissolution saturée d'eau salée fera chuter fortement la résistivité électrique du sous-sol. En effet, selon la loi d'Archie [1], la résistivité électrique d'une roche dépend fortement de la porosité et des fluides qui se trouvent dans les pores. Par conséquent, il est approprié de recourir à une méthode géophysique sensible à la distribution de la résistivité dans le sous-sol. Le sondage électrique par courant continu constituerait une excellente méthode d'investigation sauf que les profondeurs en jeu (de l'ordre de 1000 m) rendent relativement fastidieux l'emploi de cette technique. Cependant, une autre méthode a été envisagée. Il s'agit de la magnétotellurique qui permet de sonder les grandes profondeurs de façons beaucoup plus aisée. En outre, elle est mieux à même d'appréhender des structures 3-D car les mesures sont vectorielles, i.e. l'on mesure les vecteurs champs électrique et magnétique.

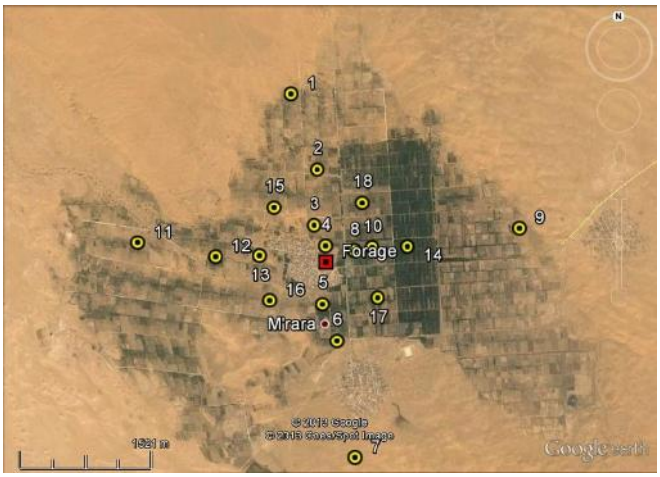

Figure 1 : Situation des sites magnétotelluriques autour du forage concerné sur fond d'image satellitaire de *GoogleEarth*.

II. ETUDE DE FAISABILITE

Afin d'étudier l'effet d'une cavité sur les observations MT réalisées à la surface du sol, nous avons effectué une simulation consistant à calculer la réponse MT d'un corps 3-D très conducteur (0.1 Ω.m) situé dans un milieu encaissant conducteur (10 à 100 Ω.m) représentant le bassin. Les résultats de la modélisation réalisée à l'aide de l'algorithme de Mackie et al. [6] montrent que la détection d'une telle cavité est une opération assez délicate. Dans ces conditions, le seuil de détectabilité est obtenu pour une cavité ayant des dimensions latérales de l'ordre de la centaine de mètres [3].

III. CAMPAGNE DE MESURE

Les données magnétotelluriques ont été collectées en octobre/novembre 2007 durant dix-sept jours. Les séries temporelles ont été enregistrées à l'aide d'un dispositif 5-composantes de Phoenix Geophysics au niveau de 18 sites répartis selon deux profiles en forme de croix d'environ 4 km de long chacun, centrés approximativement sur le forage concerné (fig.1). Au niveau de chacun des sites de mesures, il a été procédé à l'enregistrement des fluctuations des deux composantes horizontales des courants telluriques et des trois composantes du champs magnétique naturel. Pour obtenir une pénétration profonde, des enregistrement de longues périodes ont eu lieu dans certains sites durant 10 à 15 heures. D'autres de plus courtes périodes ont été effectués durant 3 à 5 heures.

La partie centrale de la zone d'étude étant habitée, les mesures magnétotelluriques sont ainsi effectuées assez délicatement à cause de la présence de bruit électromagnétique d'origine anthropique.

IV. ANALYSE ET MODÉLISATION DES DONNÉES

Les séries temporelles des cinq composantes magnétotelluriques ont été traitées à l'aide d'un code de calcul fourni par le constructeur pour extraire dans le domaine fréquentiel, les fonctions de transfert magnétotelluriques (tenseur d'impédance) et magnétiques (tipper). Les données obtenues sont généralement de bonne qualité particulièrement pour la bande de fréquence (1000 Hz - 0.1 Hz) correspondant aux profondeurs intéressantes pour notre étude.

L'analyse des données de résistivités apparentes et de phases des quatre éléments du tenseurs d'impédance selon l'approche de Bahr [2] révèle sous la zone d'étude, un bassin sédimentaire ayant une géométrie bidimensionnelle. Cette structure possède un allongement dans la direction N45°E. D'un point de vue magnétotellurique, une telle structure peut être théoriquement décrite par les deux polarisations : la polarisation électrique obtenue par le couple (Ex, Hy), l'axe x étant dans la direction du strike (i.e., N45°E) et la polarisation magnétique correspondant au couple (Ey, Hx). Les axes de mesure ont été tournés dans la direction N45°E, les données magnétotelluriques ont été alors projetées dans le nouveau système d'axe, et les résistivités apparentes et phases du tenseur d'impédance ont été alors calculées.

L'interprétation quantitative a été effectuée ensuite par une approche unidimensionnelle. Les données de l'ensemble des sondages MT ont été alors modélisées à l'aide de l'algorithme d'inversion 1-D dit « Occam » [4]. Dans une deuxième phase, un modèle bidimensionnel a été calculé à l'aide de l'algorithme du gradient conjugué non-linéaire de Mackie et al. [5] en inversant les données des sondages de chacun des deux profils.

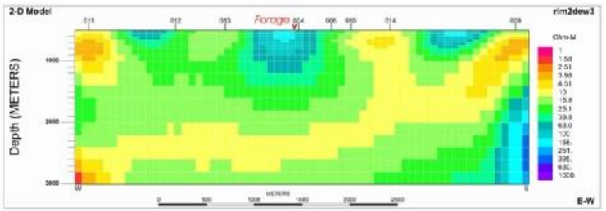

Figure 2 : Modèle 2-D obtenu par inversion des résistivités et phases de la polarisation magnétique des sondages du profil EW. Ce modèle ne met en évidence aucun conducteur sous la forage.

V. INTERPRETATION DES RESULTATS

Les données magnétotelluriques ont permis de contraindre la structure (électrique) du bassin sur quelques km de profondeur qui sont parfaitement satisfaisantes pour la cible étudiée se trouvant à un millier de mètres de profondeur. Les valeurs de la résistivité électrique obtenues sont typiquement identiques à celles des bassins sédimentaires. Elles varient globalement de 1 à 100 Ω.m sur les 3 premiers km du bassin. Les sédiments rencontrés sont de type gréseux et marno-calcaires à argilo sableux. Par ailleurs, le sous-sol ne correspond pas à un simple empilement de couches horizontales de sédiments comme on pourrait le penser, mais possède une structure plutôt bidimensionnelle dont la direction d'allongement, dite direction structurale, est orientée NE-SW (azimut de 45°).

Cependant, les données magnétotelluriques sont formelles quant à l'absence d'anomalie de conductivité à l'aplomb du forage incriminé (centre de la zone d'étude) à environ 1 000 m de profondeurs (couche salifère), anomalie susceptible de traduire l'existence d'une cavité en formation.

VI. CONCLUSION

Dans cette étude, la magnétotellurique en tant que méthode géophysique passive sensible à la distribution de la résistivité électrique du sous-sol, a été employée pour diagnostiquer un forage hydraulique profond. En effet, suite à la parution en surface de fissures ainsi que des effondrements, il était légitime de se demander si ces phénomènes superficiels ne sont pas dus à l'existence d'une cavité de dissolution au niveau de la couche salifère située à 1000 m de profondeur. Les données magnétotelluriques ne mettent pas en évidence de façon claire l'existence d'un corps conducteur susceptible d'être associé à ce phénomène. Nous avons alors conclue à l'absence d'une telle cavité ou du moins à l'absence d'une cavité de dimensions relativement importantes (supérieures à quelques dizaines de mètres).

REFERENCES

[1] Archie, G. E., 1942, the electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, Trans. Am. Min. Metall. Eng., 146, 54-67.

[2] Bahr, K., Geological noise in magnetotelluric data: a classification of distortion types. Phys. Earth Planet. Inter., 66 (1991) 24-38.

[3] Boukhlouf, W. et Messaoudi, A., 2012, Simulation numérique 3-D d'une cavité salifère d'effondrement, FSTGAT/USTHB, mémoire de master 2.

[4] Constable, S. C., Parker, R. L., and Constable, C. G., Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data, Geophysics, 52, 3 (1987) 289-300.

[5] Mackie, R., Rieven S., and Rodi, W., Users manual and software documentation for two-dimensional inversion of magnetotelluric data, MIT. Software implemented in GEOTOOLS, 1997

[6] Mackie, R .L., T.R. Madden, and P. E. Wannamaker, 1993. Three-dimensional magnetotelluric modeling using difference equations-theory and comparison to integral equation solutions, Geophysics, 58, 215-226.