

ÉTUDE HYDROGÉOPHYSIQUE DE LA FERME EXPÉRIMENTALE (ZONE VERTE, BENGUERIR, MAROC)

IHBACH Fatim-zahra¹, KCHIKACH Azzouz^{1,2}, JAFFAL Mohammed^{1,2}, BODINIER Jean-Louis², ELJABBAR Bouazzaoui², JOURANI Es-said³

¹ Laboratoire Géorressources, Géoenvironnement et Génie civil (L3G), Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc, ihbachfatimzahra@gmail.com, a.kchikach@uca.ma, m.jaffal@uca.ma

² Geology and Sustainable Mining, Mohammed VI Polytechnic University, Benguerir, Maroc, Azzouz.KCHIKACH@um6p.ma, Mohammed.JAFFAL@um6p.ma, Bouazzaoui.ELJABBAR@um6p.ma, JeanLouis.BODINIER@um6p.ma

³ OCP Group, Casablanca, Maroc, e.jourani@ocpgroup.ma

RESUME

Plusieurs projets de recherche appliquée dans les domaines de l'agriculture de précision et des énergies renouvelables ont été lancés ces dernières années dans la zone verte de Benguerir au Maroc. La ferme expérimentale concernée par la présente étude hydrogéophysique est une plateforme de l'Ecole d'agriculture de l'Université Mohammed VI Polytechnique. L'étude vise à explorer les potentialités hydriques des aquifères de la ferme en vue de soutenir les programmes de recherche appliquée menés dans cette dernière. L'étude menée par sondages électriques verticaux (VES) et par tomographie des résistivités électriques (ERT) a permis d'identifier les zones les plus propices à encaisser et accumuler les eaux souterraines. L'analyse combinée des résultats des deux méthodes a permis de définir les caractéristiques géo-électriques du sous-sol et d'identifier des structures hydro-géologiques (failles et zones fracturées) et recommander ainsi les sites les plus favorables pour l'implantation des forages d'eau.

Mots clés : Hydrogéophysique, Eaux souterraines, zone verte, Benguerir, Maroc.

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION FOR GROUNDWATER RESOURCES FROM ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY AND ELECTRICAL SOUNDING DATA IN THE GREEN AREA, BENGUERIR, MOROCCO

ABSTRACT

Several research projects applied in the fields of precision agriculture and renewable energies have been launched in recent years in the Benguerir green zone in Morocco. The experimental farm concerned by this hydrogeophysical study is a platform of the Agriculture School of the Mohammed VI Polytechnic University. The present study aims to explore the water potential of the farm's aquifers in order to support the applied research programs implemented there. This study was carried out using vertical electrical sounding (VES) and electrical resistivity tomography (ERT) and allowed the identification of the zones most likely to accumulate groundwater. The joint analysis of the acquired results from both methods made it possible to determine the subsoil's geo-electrical characteristics and identify hydro-geological structures, such as faults and fractured zones, and thus to recommend the most favorable sites for siting boreholes.

Key words: Hydrogeophysical, Groundwater, Green area, Benguerir, Morocco.

INTRODUCTION

La ferme expérimentale est une plateforme de l'Ecole d'agriculture de l'Université Mohammed VI Polytechnique (UM6P) à Benguerir, dédiée à la recherche appliquée dans le domaine de l'agriculture durable, de la valorisation des ressources naturelles et de l'environnement. Elle s'étend sur une superficie de 110 hectares et se situe au niveau de la bordure septentrionale de la plaine de la Bahira, à environ 6 kilomètres au sud-est de la ville de Benguerir (Fig. 1).

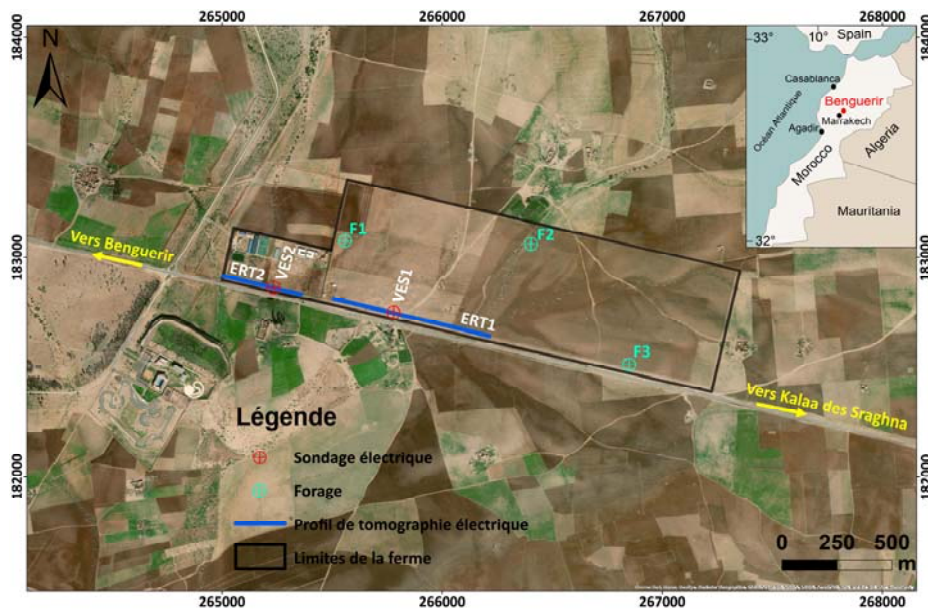


Fig. 1 – Plan de situation de la ferme expérimentale et localisation des travaux géophysiques réalisés.

Trois forages (F1, F2 et F3, Fig. 1) ont été antérieurement réalisés de façon arbitraire afin d’explorer les ressources hydriques souterraines de la ferme. Seul le forage F1 a fourni un débit exploitable de 4,16 l/s qui reste insuffisant pour accomplir les missions de cette ferme. Dans cette optique une investigation hydrogéophysique a été menée pour localiser et proposer les zones les plus propices pour implanter de nouveaux forages.

La ferme est située dans un contexte de socle. Les structures hydrogéologiques recherchées consistent essentiellement en des failles et zones fracturées susceptibles de drainer l’eau souterraine.

La réalisation de deux SEV et deux profils ERT a permis de mettre en évidence les zones les plus propices à encaisser les aquifères d’eau souterraine, dans la partie investiguée de la ferme, et de recommander l’emplacement de nouveaux forages. Nous attendons toujours la réalisation des forages pour contrôler l’interprétation donnée aux données du terrain.

CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HDYDROGEOLOGIQUE DU SITE

Du point de vue hydrogéologique, les formations sédimentaires de la plaine de la Bahira (Fig. 2) renferment plusieurs aquifères dont les principaux sont : La nappe superficielle libre logée dans les alluvions conglomératiques du Plio-Quaternaires et dans les calcaires fracturés d’âge Lutétien (Erouane, 1996 ; Bougada, 1991). La nappe profonde captive abritée dans les sables et marnes phosphatés du Maestrichtien (Karroum, 2015). Dans les parties méridionale et centrale de la plaine de la Bahira, existe une troisième nappe beaucoup plus profonde (plus de 350 m) logée dans les calcaires karstifiés du Turonien (ABHO, 2008). Plus profondément encore, existent les nappes de socle exploitées par les riverains dans les massifs hercyniens des Jbilet et Rehamna.

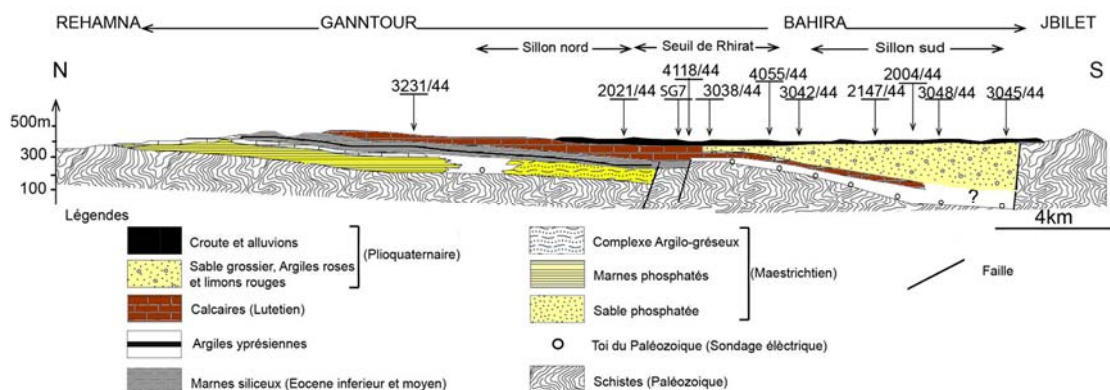


Fig. 2 – Coupe géologique de la partie centrale de la plaine de la Bahira (Karroum, 2015)

L'examen des cuttings des forages F1, F2 et F3 ainsi que les carottes des sondages mécaniques, réalisés à la faveur d'une étude géotechnique d'un bassin de stockage, permettent de se situer dans le contexte géologique et hydrogéologique local. Le site montre que l'on intercepte sur les 5 à 10 premiers mètres des alluvions et colluvions formés d'un mélange de graves argileuses et nodules de grès. L'épaisseur de cette première formation peut atteindre 30 m par endroit (F3). En dessous, on trouve des schistes à aspect pélitique, puis un terrain franchement schisteux à schisto-gréseux.

MATERIEL ET METHODES

Un sondage électrique vertical (VES) consiste à explorer, en un point précis de la surface, la structure et les variations de la résistivité du sous-sol suivant la verticale en écartant progressivement les électrodes du quadripôle ce qui permet de prospecter d'avantage des niveaux plus profondes. Nous avons réalisé deux sondages électriques (VES1 et VES2, **Fig. 1**) en utilisant l'équipement GEOTRADE GTR3. Le dispositif adopté est de type Schlumberger avec une ligne d'émission du courant AB pouvant atteindre 1000 m et offrant ainsi une profondeur d'investigation de plus de 100 m. Les mesures ont été effectuées avec six cycles de deux secondes chacun pour avoir une bonne moyenne de la résistivité du sous-sol et le processus d'inversion a été réalisé par le logiciel WINSEV.

La tomographie des résistivités électriques (ERT) consiste à utiliser un dispositif multi-électrodes, à intervalle régulier, qui correspond à l'association d'une multitude de quadripôles (AMNB) connectées à un dispositif de mesure de potentiel et d'injection de courant automatisé. Cette technique permet d'acquérir un grand nombre de mesures, moyennant la combinaison de différents dipôles de courant et de potentiel, produisant ainsi une image bidimensionnelle (2D) de la résistivité du sous-sol. Deux profils de tomographie des résistivités électriques (ERT1 et ERT2, **Fig. 1**) de longueurs respectives de 720 m et 360 m ont été réalisés en utilisant une séquence de mesures à 32 niveaux. L'équipement utilisé est SYSCAL JUNIOR SWITCH 72 (Iris Instruments) offrant la possibilité de réaliser des profils de 720 m avec un espacement entre les électrodes de 10 m. Cependant, nous avons été contraints de réduire cet espacement à 5 m pour le profil ERT2 réalisé à l'intérieur de la pépinière clôturée. Le dispositif utilisé est Wenner-Schlumberger avec un stacking de six cycles de 500 ms chacun et l'inversion des données est effectuée par le logiciel RES2DINV.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les courbes des sondages électriques (VES1 et VES2, **Fig. 3a**) montrent, généralement, des variations similaires de la résistivité du sous-sol. La première couche d'une résistivité de 108 Ohm.m correspond à l'horizon superficiel sec du sol. En dessous, une baisse de la résistivité est enregistrée, elle correspond probablement à une couche du recouvrement humide au niveau de la pépinière souvent irriguée. En dessous on assiste à une légère augmentation de la résistivité qui correspond aux terrains schisteux altérés. Sous cette couche, apparaît le vrai socle résistant à 48 m de profondeur pour VES1 et 21 m pour VES2, avec une augmentation très significative de la résistivité (plus 1000 Ohm.m). Les sondages électriques montrent une rechute de la résistivité à partir de la profondeur 74 m pour VES1 et 55 m pour VES2. Malgré qu'on soit toujours dans un contexte de socle, cette évolution est à notre sens liée à l'existence de zones à teneur élevée en eau dans le socle schisto-gréseux au-delà de ces profondeurs.

Les profils de tomographie des résistivités électriques (ERT1 et ERT2, **Fig. 3b**) montrent une hétérogénéité des résistivités des terrains en subsurface. Le profil ERT2 montre des valeurs de résistivité plus faible que celles du profil ERT1. Ceci est dues à l'effet de l'irrigation des champs à l'intérieur de la pépinière. La résistivité augmente progressivement et régulièrement avec la profondeur notamment dans la partie centrale des deux profils. Les modèles de résistivité montrent un fond très résistant attribué au substratum schisto-gréseux déjà reconnu par les sondages électriques. De part et d'autre de ce fond, les sections ERT montrent des dépressions (noté D1, D2 et D3 ; **Fig. 3a**) caractérisées par une baisse des résistivités. Il s'agirait probablement des zones de socle altérées ou fracturées susceptibles d'encaisser des nappes d'eau souterraine le long de couloirs de direction perpendiculaire ou oblique par rapport aux profils réalisés.

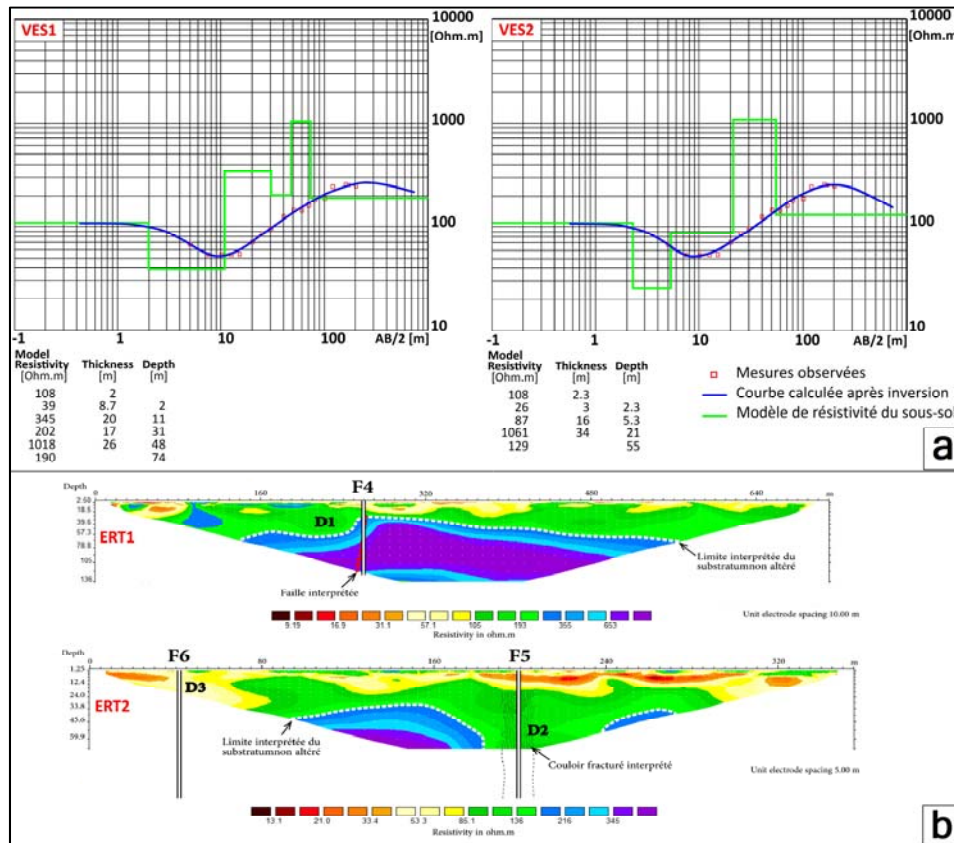


Fig. 3 – a) Résultat des sondages électriques VES1 et VES2. b) Modèles de résistivité du sous-sol obtenu pour les deux profils ERT1 et ERT2.

La zone altérée du substratum schisteux, mise en évidence par les sondages électriques VES1 et VES2 et confirmée par les profils de tomographie ERT1 et ERT2, est caractérisée par une variation latérale d'épaisseur dessinant ainsi des zones de haut fond du socle et des dépressions. Ces dernières constitueraient des dépocentres au niveau desquels convergeraient localement les écoulements d'eau souterraine, et constituent donc des zones favorables à l'implantation de forages productifs.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'interprétation des données SEV et ERT a permis d'identifier et de localiser les zones les plus propices à encaisser les aquifères d'eau souterraine dans la ferme expérimentale de la zone verte à Benguerir. Ces dernières correspondraient à des failles et/ou couloirs fracturés et altérés (Fig. 3b) du socle schisto-gréseux qui domine la géologie locale. Ainsi, trois nouveaux forages (Fig. 3b) ont été recommandés pour mieux contrôler le potentiel hydrique souterrain au niveau de la ferme. Les caractéristiques des forages à eau proposés sont précisées dans le tableau suivant :

Forage	X Lambert	Y Lambert	Inclinaison	Profondeur (m)
F4	265626.2	183043.9	90°	110
F5	265066.4	183162.3	90°	100
F6	264910.9	183198.7	90°	100

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DE L'OUUM ER-RABIA, 2008 – Note sur la nappe de la Bahira, 16 p.
- BOUGADRA A., 1991 – Synthèse hydrogéologique de la Bahira occidentale. Thèse de Doctorat, Université de Marrakech, 229 p.
- ER-ROUANE S., 1996 – Mise en œuvre d'outils informatiques pour la modélisation du système aquifère de la Bahira (Maroc Occidental). Thèse État, Université de Nancy, 152 p.
- KARROUM M., 2015 – Apport de la géophysique et l'hydrogéochimie à la caractérisation des eaux souterraines de la Bahira (Maroc centrale). Thèse État, Université Cadi Ayyad, Marrakech, 215 p.