

Étude du toit de la nappe de Beauce à Villamblain par résistivité électrique

D. Michot¹, A. Dorigny¹, Y. Benderitter², Y. Albouy³

¹INRA Orléans, Unité de Science du Sol, SESCOF, BP 20619,
45166 Olivet cedex, France.

²CNRS (UMR 7619), CRG, Garchy, 58150 Pouilly-sur-Loire, France.

³IRD, Géodynamique Interne, 32 avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, France.

ABSTRACT

Water resources control is one of the main environmental problems at this end of the twentieth century. Piezometric surface knowledge of the water table of the Beauce region is crucial to estimate the water reserve in this intensive farming region. To this end, some electrical soundings with a Schlumberger array and a dipôle-dipôle multi-electrode method were tested on the Villamblain study domain.

The water table, corresponding to an electrical conductive medium, is detected. However, it is difficult to clearly separate the electrical conductivity effect of the water table from that of the Gâtinais molasse, which is a clayey conductive layer present within the aquifer. The pedological cover and the geological substratum are clearly individualized with the multi-electrode method, which confirms its interest.

INTRODUCTION

L'étude des caractéristiques de la nappe de Beauce, et en particulier de l'effet des prélèvements agricoles sur la réserve en eau, est un sujet d'intérêt majeur. Actuellement le contrôle de la ressource en eau s'effectue par le suivi de la nappe au moyen de piézomètres. Dans le but d'améliorer les connaissances sur le toit de la nappe de Beauce, la structure géologique de l'aquifère et notamment la topographie de son plancher imperméable, l'utilisation de méthodes géophysiques non destructives semble adaptée. La facilité de mise en œuvre des mesures géophysiques par rapport à la réalisation des forages, leur continuité le long d'un profil permettant une visualisation bi-dimensionnelle des structures géologiques sont autant d'avantages justifiant leur emploi. La méthode électrique a été testée en réalisant successivement des sondages puis un panneau électrique.

PHYSIOGRAPHIE DU DOMAINE D'ÉTUDE

L'étude se situe en « Petite Beauce » au sud-ouest du Bassin de Paris, sur la commune de Villamblain. La couverture pédologique du site est constituée principalement de trois unités de sols (Duval et Isambert, 1992). Les plateaux et pentes d'orientation Nord et Est présentent des sols de type néoluvisol limono-argileux, alors que les pentes Sud et Ouest montrent des calcosols et des calcisols. La couverture pédologique d'épaisseur métrique recouvre un niveau de calcaires remaniés (calcaires durs, calcaires pulvérulents, matériaux cryoturbés) dont l'épaisseur peut atteindre 2 m. Les formations calcaires de Beauce, au sens large, constituent le soubassement géologique où s'observent deux niveaux aquifères superposés. Ces formations correspondent à l'ensemble des faciès lacustres à dominance calcaire qui se sont déposés du Lutétien à l'Aquitaniens. Elles se caractérisent par leurs hétérogénéités, qui est aussi bien verticale que latérale (Gigot, 1973). Quatre principales formations se rencontrent. Le Calcaire de Pithiviers (Aquitaniens supérieur) ou Calcaire de Beauce au sens strict avec une épaisseur de 20 à 25 m, constitue le premier aquifère. L'eau de cette nappe se caractérise par une résistivité électrique comprise entre 25 Ω .m et 17 Ω .m et son niveau piézométrique est situé vers 20 m de profondeur. La Molasse du Gâtinais (Aquitaniens inférieur), interstratifiée, constitue une couche semi-perméable de 4 m d'épaisseur séparant les deux aquifères. Le second aquifère est constitué du Calcaire d'Étampes (Stampien) et du Calcaire de Morancez (Lutétien) pour une épaisseur moyenne de 40 m. Le plancher imperméable est formé d'argile à silex, produit de décarbonatation de la craie Crétacée.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

La méthode électrique a été testée et mise en œuvre selon deux approches complémentaires. Dans un premier temps, une étude de la variabilité verticale des matériaux a été réalisée à l'aide de sondages électriques. Un quadripôle Schlumberger associé à un résistivimètre SYSCAL R1 a permis de mesurer la résistivité apparente. L'intérêt de la configuration Schlumberger est d'obtenir une plus grande profondeur d'investigation.

Dans un second temps, une méthode multi-électrodes fournit un panneau électrique (fig. 1) permettant une étude de la variabilité verticale et latérale de la résistivité apparente du sous-sol. Le dispositif de mesure est constitué de 32 électrodes équidistantes de 5 m. Un multiplexeur assure la commutation des électrodes tandis qu'un résistivimètre SYSCAL R2 pilote la séquence de mesures préalablement programmée. Quatre électrodes en configuration dipôle-dipôle sont utilisées pour chaque mesure et chaque panneau comporte 328 mesures. Plusieurs panneaux peuvent être associés avec un recouvrement le long d'un profil. L'intérêt du panneau électrique est de permettre une acquisition rapide de données sur plusieurs profondeurs en faisant varier l'écartement des dipôles. Les panneaux électriques sont bien adaptés à la reconnaissance de structures 2D perpendiculaires au profil de mesures.

TRAITEMENT DES DONNÉES

L'inversion des sondages électriques est effectuée à l'aide du logiciel interactif PPSELV développé au C.R.G de Garchy par J.Tabbagh. Une première inversion permettant

d'obtenir des résistivités vraies et des épaisseurs est réalisée à partir de l'étude géophysique de la courbe expérimentale $\rho_a = f(AB/2)$. L'intégration de données externes (épaisseur des terrains, courbes gamma- ray) fournies lors des forages des piézomètres, permet d'améliorer notre ajustement lors d'une seconde inversion.

La modélisation des pseudosections et l'inversion des données du panneau électrique final sont réalisées à l'aide du logiciel RES2DINV de M.H. Loke.

RÉSULTATS

La coupe géo-électrique (fig. 2) rassemble l'ensemble de l'information issue de l'inversion de sept sondages électriques Schlumberger numérotés de S_1 à S_7 . Les cinq premiers ont été réalisés dans le sens du panneau électrique. Les sondages S_6 et S_7 réalisés en croix au même endroit et orientés à 45° par rapport au panneau présentent des résultats similaires, ce qui assure d'une certaine isotropie du sous-sol. Les sondages électriques permettent de subdiviser verticalement le sous-sol en trois domaines :

- un premier domaine superficiel caractérisé par des résistivités inférieures à $200 \Omega.m$. Il correspond à la couverture pédologique et à la partie supérieure altérée du calcaire de Beauce ;
- alors que le niveau piézométrique de la première nappe se situe vers 20 m de profondeur, un second domaine résistant ($300 \Omega.m$ à $1700 \Omega.m$) s'observe sur une épaisseur de 25 à 28 m. Il se caractérise par une forte variabilité latérale et verticale de la résistivité électrique avec localement des strates plus conductrices et des pôles extrêmement résistants. Il s'agit du Calcaire de Pithiviers, formation lacustre connue par sa variabilité latérale de faciès.
- vers 30-35m de profondeur, le troisième domaine s'individualise par des résistivités électriques inférieures à $150 \Omega.m$, dues à l'influence de la Molasse du Gâtinais recouvrant les calcaires d'Etampes : aquifère de la seconde nappe.

Le panneau électrique (fig. 3) nous a permis d'obtenir une plus grande densité d'informations en quasi-continu, sur une épaisseur de terrain d'environ 30m. Son analyse en fonction de la profondeur indique deux domaines de structure différente et contrastée.

1. Profondeur de 0 à 10 m

Les formations, présentes jusqu'à une profondeur de 8 m à 10 m, se caractérisent par une structure subhorizontale. La résistivité vraie de ces matériaux, faible en surface ($<100 \Omega.m$), croît avec la profondeur. Il s'agit de la couverture pédologique au sens large regroupant les sols argilo-limoneux et le niveau d'altération du calcaire de Beauce.

2. Profondeur de 10 à 30 m

Pour ces profondeurs, la structure géologique du milieu s'individualise latéralement par la présence de quatre noyaux de résistivité électrique supérieure à $400 \Omega.m$.

Le noyau principal est situé au Nord entre les abscisses 700 m et 900 m. Il présente de très hautes résistivités avec des valeurs supérieures à $1300 \Omega.m$ entre 730 m et 780 m. Les trois autres noyaux résistants s'observent respectivement entre 930 m et 1005 m pour le second ; 1015 m et 1070 m pour le troisième, 1125 m et 1150 m pour le dernier.

La taille et la résistivité électrique de ces quatre noyaux diminuent latéralement du Nord vers le Sud. Les domaines résistants sont séparés par des zones de plus faible résistivité qui apparaissent également sur les pseudosections de résistivité apparente. Pour les distances supérieures à 900 m la résistivité électrique a tendance à diminuer aux plus grandes profondeurs atteintes. Cependant les domaines plus conducteurs ($\rho < 290 \Omega\text{m}$) - observés pour les distances de 920 m, 1 100 m et 1 170 m et situés sous les noyaux résistants - correspondent approximativement aux domaines de non-recouvrement des panneaux électriques élémentaires. La réalité de ces anomalies conductrices n'a pu être confirmée ou infirmée. Il peut éventuellement s'agir d'artefacts liés au protocole expérimental.

Ce panneau électrique présente des variations de résistivité en accord avec les observations ponctuelles réalisées sur les sondages électriques. Il met bien en évidence des variations latérales de faciès caractéristiques des calcaires de Beauce. Il est probable que les différents noyaux électriquement résistants correspondent à des noyaux de calcaire dur, pauvres en argile. La diminution de la résistivité entre ces noyaux de calcaire dur peut aller de pair avec un enrichissement en argile synonyme d'une variation latérale de faciès.

Pour les distances supérieures à 900 m, la diminution de la résistivité électrique en profondeur peut également être associée soit à une augmentation de teneur en argile liée à la présence des molasses du Gâtinais, soit à l'influence de la première nappe au sein des calcaires de Pithiviers. Rappelons que la résistivité électrique de l'eau de la nappe est voisine de $20 \Omega\text{m}$. L'influence de l'eau de la nappe sur la résistivité de l'aquifère, n'est pas négligeable si le volume poral occupé par l'eau est suffisant. Sa présence peut alors expliquer la diminution de la résistivité en profondeur.

L'hétérogénéité des résistivités électriques reflète l'hétérogénéité de la structure géologique qui elle-même a une influence sur la circulation hydrique. Les passages plus argileux, électriquement plus conducteurs, présentent une perméabilité hydraulique plus faible.

CONCLUSION

Le niveau piézométrique de la première nappe de Beauce ne peut pas être déterminé avec plus de précision que celle obtenue avec les piézomètres. La première nappe des Calcaires de Pithiviers ne présente pas de signature électrique identifiable sur les sondages Schlumberger. Seule la seconde située au sein des Calcaires d'Etampes est mise en évidence par les sondages électriques. A l'inverse, le panneau électrique présente un niveau conducteur, pouvant correspondre à la première nappe, à la base des Calcaires de Pithiviers. La détection de ces nappes, révélée par un niveau conducteur en profondeur, peut avoir deux origines. La première, directe, est la forte conductivité électrique des eaux. La seconde plus indirecte peut être liée à la présence de la Molasse du Gâtinais : niveau semi-perméable, conducteur car riche en argile, séparant les deux niveaux aquifères des calcaires de Beauce.

Les résultats de la prospection géophysique nous ont également montré l'intérêt de la méthode multi-électrodes quant à la délimitation de la couverture pédologique avec les calcaires du substratum géologique. L'hétérogénéité des résistivités électriques reflète l'hétérogénéité de la structure géologique caractéristique pour ses variations latérales de faciès.

BIBLIOGRAPHIE

Duval O., Isambert M. (1992) - Etude pédologique du secteur de Villamblain (Beauce). Rapport interne, SESCOF, INRA, Orléans.

Gigot Cl. (1973) - Carte géologique de la France à 1/50 000 : feuille de Patay et notice explicative, 18p. BRGM-SGF Orléans.

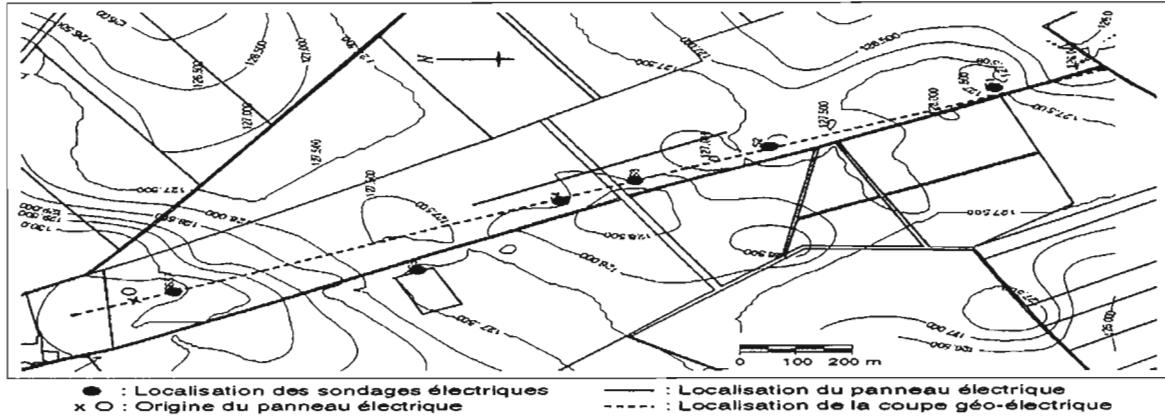


Fig. 1 - Plan de localisation.

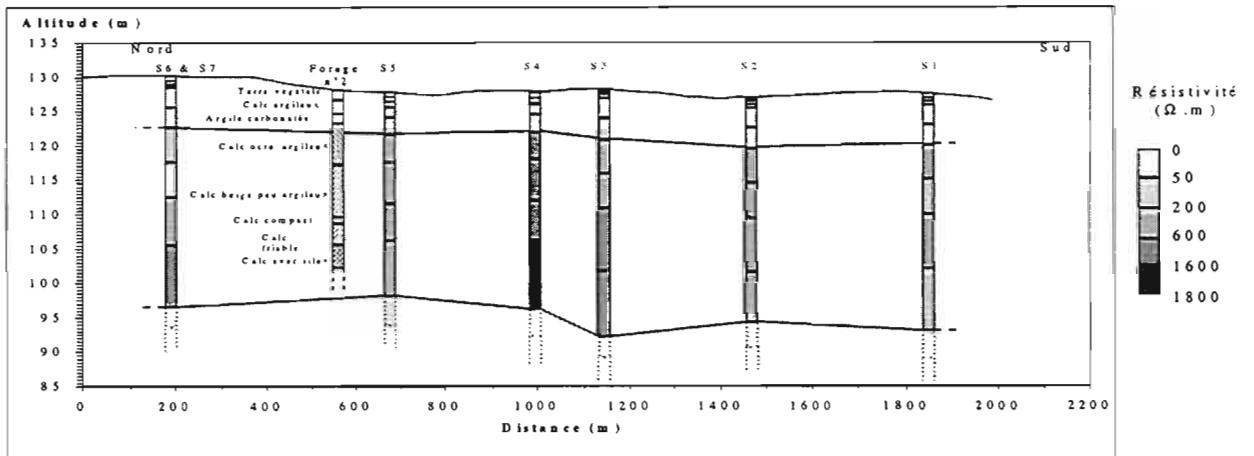


Fig. 2 - Coupe géo-électrique.

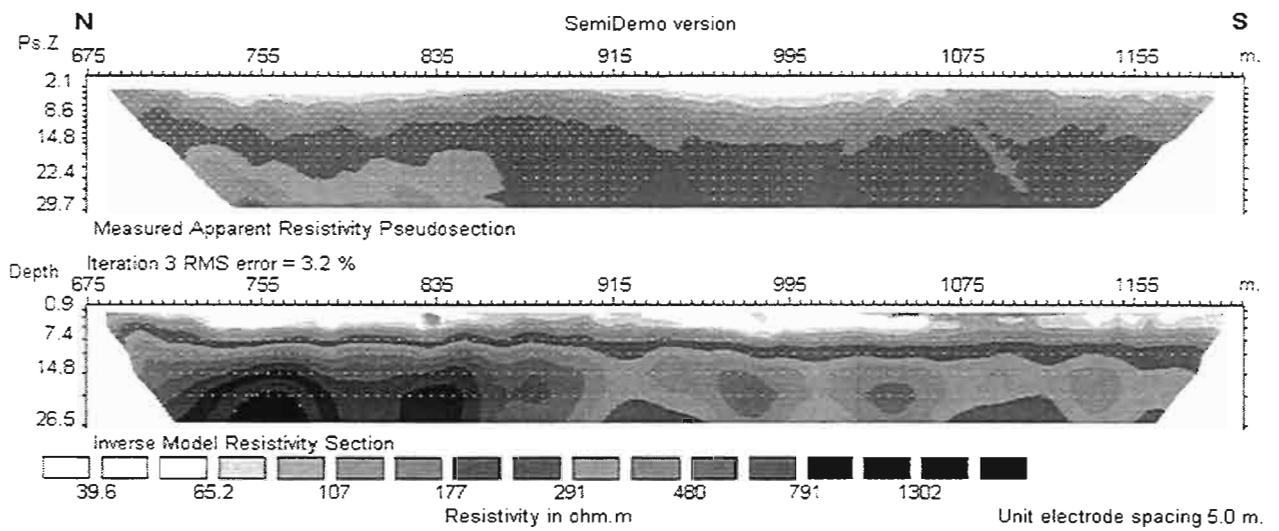
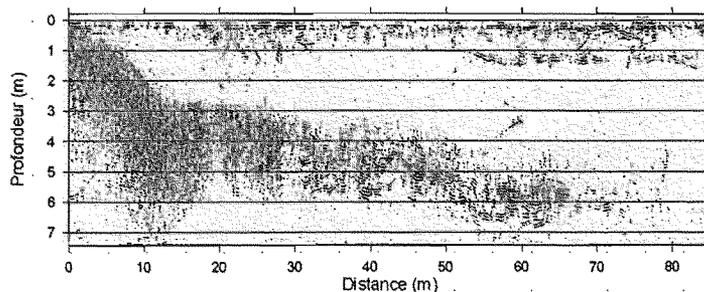


Fig. 3 - Représentation 2D du panneau électrique.

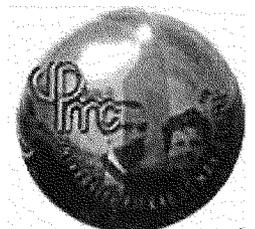
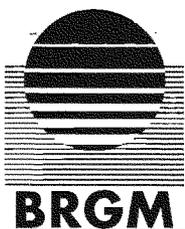
ACTES DU 2^{ème} COLLOQUE DE GÉOPHYSIQUE DES SOLS ET DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

GEOFCAN

21-22 septembre 1999
BRGM - Orléans, France



Section radar du toit d'une induration argileuse au Sénégal (mesures BRGM)



*2^{ème} colloque de Géophysique des sols
et des formations superficielles*

Résumés étendus

*21-22 septembre 1999
BRGM - Orléans, France*

*Organisé par :
BRGM
INRA
IRD
Université Pierre et Marie Curie*