HAL
open science

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

Didier Michot, A. Dorigny, Y. Benderitter, Y. Albouy

To cite this version:

Didier Michot, A. Dorigny, Y. Benderitter, Y. Albouy. Étude du toit de la nappe de Beauce à Villamblain par résistivité électrique. Pangea infos, 1999, 31/32, pp.36-39. insu-00959395

HAL Id: insu-00959395

https://insu.hal.science/insu-00959395v1

Submitted on 14 Mar 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

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

D. MICHOT [1], A. DORIGNY [1], Y. BENDERITTER [2], Y. ALBOUY [3]

[1] INRA Orléans, Unité de Science du Sol, SESCPF, BP 20619, 45166 Olivet cedex, France.
[2] CNRS (UMR 7619), CRG, Garchy, 58150 Pouilly-sur-Loire, France.
[3] IRD (ex-ORSTOM), Géodynamique Interne, 32 avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, France.

ABSTRACT

Water resources control is one of the main environmental problems at this ending 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 individualised 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 & 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'Aquitanien. Elles se caractérisent par leur hétérogénéité, qui est aussi bien verticale que latérale (Gigot, 1973). Quatre principales formations se rencontrent. Le Calcaire de Pithiviers (Aquitanien 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 Ωm et 17 Ωm et son niveau piézomètrique est situé vers 20 m de profondeur. La Molasse du Gâtinais (Aquitanien inférieur), interstratifiée, constitue une couche semi-perméable de 4 m d'épaisseur séparant les deux aquifères. Le second aquifère est constitué du Calcaire

5. Courbes de sondages électriques à « remontée traînante »

Dans ce cas, les deux branches de la courbe sont dissymétriques. La diminution de la pente montante est liée à l'existence d'un terrain très important en hydrogéologie et en génie civil, à savoir le socle fissuré et les arènes grenues (niveau graveleux), entre l'horizon conducteur et le socle sain. La présence de ce terrain est liée à l'influence d'une mégafracture (Savadogo, 1984; Biémi, 1992). L'inflexion de la branche montante peut être assez prononcée et donner une courbe de sondage avec un « escalier sur la branche montante ».

6. Courbes de sondages électriques « à deux fonds de bateau consécutifs »

Ce type de sondage électrique est caractérisé par deux courbes en « fond de bateau » consécutives. Les trois premiers terrains définissent un aquifère perché avec son complexe conducteur dans le fond du bateau. Le second aquifère est représenté par le terrain plus conducteur du second fond de bateau. Il s'agit donc d'aquifères superposés.

7. Courbes de sondages électriques avec « un intermédiaire en descente »

Ce type de courbe de sondage électrique se singularise des autres par un palier (« intermédiaire en descente ») entre le premier complexe résistant et le complexe conducteur. Elles indiquent bien par le palier, le toit de la nappe des altérites latéritiques noyées variant entre 10 et 20 mètres de profondeur en période très sèche (mois d'avril). Les résistivités vont de 150 à 400 Ωm. Notons la présence d'indices biologiques indiquant cette nappe d'eau des altérites latéritiques dans les « bowé » : il s'agit des termitières du genre *Cubitermes* (Savadogo, 1984).

DISCUSSION ET CONCLUSION

La tectonique éburnéenne et l'altération supergène des formations cristallines du Burkina Faso confèrent aux formations superficielles du pays des profondeurs variables qui permettent de distinguer 7 formes principales de courbes de sondages électriques verticaux (dispositifs Schlumberger). Souvent, ces formes de courbes de sondages électriques peuvent s'associer selon la complexité de la structure des formations superficielles.

Les formes de courbes en zone de failles (courbes à « remontée traînante ») ainsi que les observations de terrain (forages d'eau, exploitations minières) confirment l'importance des déformations subies par les formations d'âge Birrimien (2,1 Ga). Ainsi, on rencontre des formations superficielles peu épaisses intercalées par des zones à importantes couches d'altération dans les zones de failles (bas-fonds, couloir de cisaillement...).

Le sondage électromagnétique de fréquences est d'exécution plus rapide (9 mesures en 3 minutes pour le dispositif Max1 par exemple) par rapport au sondage électrique vertical (21 mesures en 1 heure environ de manipulation). Il donne la même succession de terrains que le sondage électrique vertical à condition d'utiliser une configuration en bobines horizontales dont la direction recoupe celle de l'anomalie, ou une configuration en bobines verticales avec une direction de ligne parallèle à l'anomalie (Nakolendoussé, 1991; Savadogo *et al.*, 1991).

Le recalage des sondages géophysiques aux données de forages d'eau montrent une assez bonne corrélation des horizons et des épaisseurs indiqués. Le contexte géologique se distingue clairement sur les courbes de sondages qui montrent bien un fond de bateau plus large sur socle schisteux que sur socle granitique. Par ailleurs, l'effet des failles se remarque sur les courbes de sondages par un saut à l'embrayage. En hydrogéologie de socle cristallin, on accordera la priorité aux courbes de sondages en « fond de bateau » et à « remontée traînante », à « deux fonds de bateau consécutifs » ou en « escalier sur la pente descendante ». L'épaisseur d'altération argileuse peut atteindre 60 m dans certaines zones.

Les formes de courbes ci-dessus et par conséquent les résistivités et les épaisseurs de terrains peuvent varier au cours de l'année selon leur état d'humectation de la formation superficielle. Il serait intéressant de procéder à des mesures saisonnières et inter-annuelles pour une typologie plus complète des courbes de sondages électriques verticaux. Par ailleurs, l'interprétation des sondages Schlumberger qui sont très utilisés en Afrique sub-sahélienne et tropicale aussi bien pour l'investigation en profondeur que pour l'investigation latérale requiert l'hypothèse d'horizontalité des terrains. Cette hypothèse est rarement vérifiée en domaine de socle cristallin. L'introduction du dispositif Wenner permettrait une meilleure connaissance de l'extension latérale des horizons de terrains. □

Bibliographie

Biémi J. (1992) - Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest. Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la haute Marahoué. - Thèse doct. ès Sci., Univ. Abidjan, Côte-d'Ivoire, 500 p.

d'Etampes (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 CRG 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.

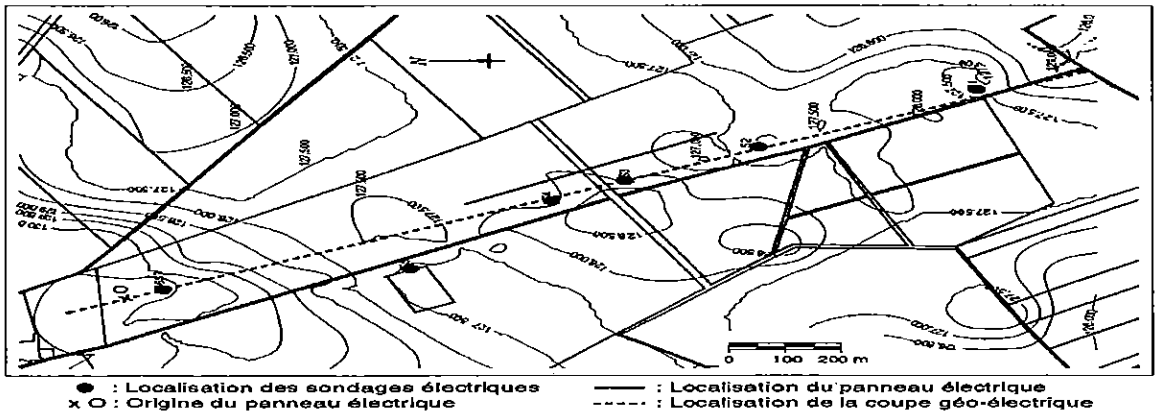

Fig. 1 - Plan de localisation.

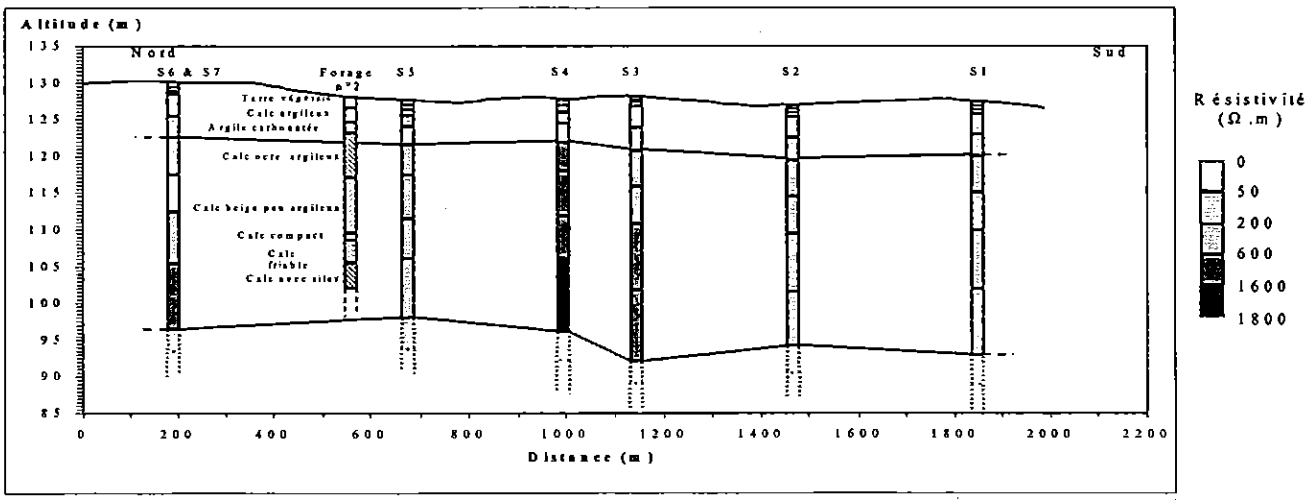

Fig. 2 - Coupe géo-électrique.

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 Ωm. 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 deuxième domaine résistant (300 Ωm à 1700 Ωm) 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 30-35 m de profondeur, le troisième domaine s'individualise par des résistivités électriques inférieures à 150 Ωm, 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 30 m. Son analyse en fonction de la profondeur indique deux domaines de structure différente et contrastée.

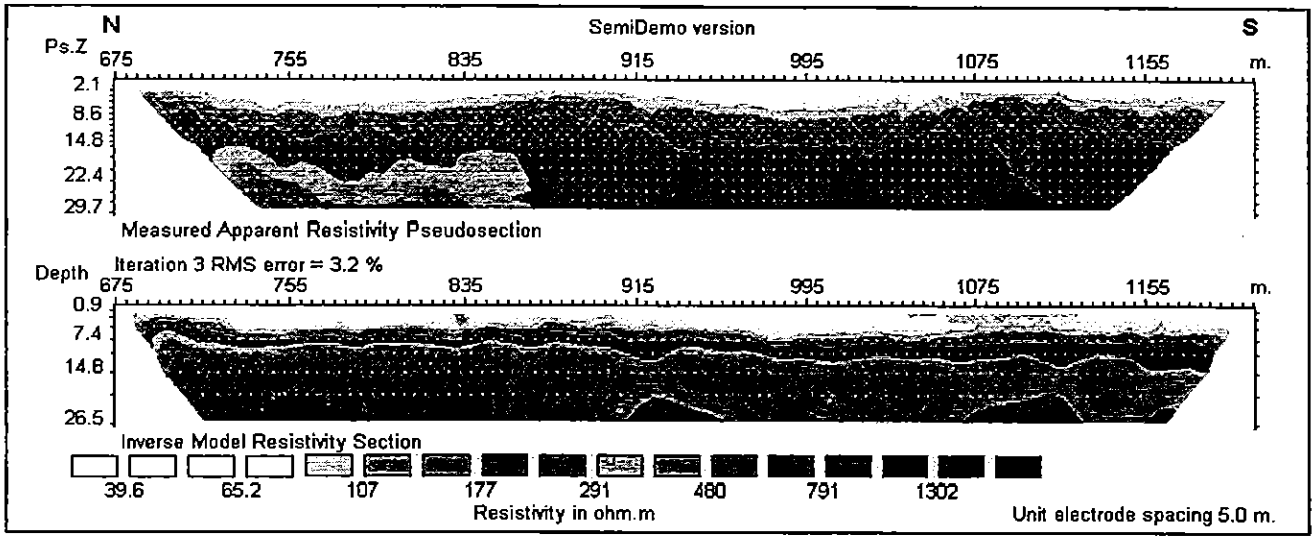

Fig. 3 - Représentation 2D du panneau électrique.

1. Profondeur de 0 à 10 m

Les formations, présentes jusqu'à une profondeur de 8 à 10 m, se caractérisent par une structure subhorizontale. La résistivité vraie de ces matériaux, faible en surface (<100 Ωm), 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 Ωm.

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 1 300 Ωm entre 730 m et 780 m. Les trois autres noyaux résistants s'observent respectivement entre 930 m et 1 005 m pour le deuxième; 1 015 m et 1 070 m pour le troisième, 1 125 m et 1 150 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 ($\rho < 290$ Ωm) – 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 Ωm. 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 semiperméable, 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, SESCPF, INRA, Orléans.
Gigot Cl. (1973) - Carte géologique de la France à 1/50 000 : feuille de Patay et notice explicative, 18 p. - BRGM-SGF Orléans.