

A

pport de la méthode électrique pour la reconnaissance hydrogéologique et l'étude des variabilités superficielles en zone sédimentaire subsaharienne

Anne Zanolin¹, Joseph Tchan², Laurent Barbiero³, Pascal Boivin³, Marc Descloitres⁴

¹ 27bis rue La Fontaine, 92260 Fontenay aux Roses, France

² ORSTOM, Laboratoire de Géophysique, B.P. 1386, Dakar, Sénégal

³ ORSTOM, Laboratoire de Pédologie, B.P. 1386, Dakar, Sénégal

⁴ Université P. et M. Curie, Département de Géophysique, 4 Place Jussieu, Case 105, 75252 Paris cedex 05, France

Abstract

The future irrigated zones of the Senegal river valley are actually accurately studied because of the risks of soil degradation. This phenomenon is increased by groundwater recharge under flooded culture, which could be understood using a dense piezometric network. In order to define the geometrical characteristics of the aquifer, a Schlumberger DC electrical survey soundings was carried out along 3 main profiles. In spite of scarce geological information, the interpretation gives precious indications on the aquifer system to locate accurately the future piezometric network and on complex lateral variations in superficial soils. This classical approach seems also to be adequate to explore and understand the main soil systems and to give a deeper image of the soils than the image given by shallow pits.

Introduction

Le développement de l'irrigation en bordure du fleuve Sénégal permet actuellement l'approvisionnement en eau des périmètres cultivés de cette vallée subsaharienne. Un processus de dégradation des sols par alcalinisation pourrait cependant être favorisé par la remise en solution de sels marins lors de la recharge de la nappe sous périmètres inondés (Boivin et al., 1995).

La zone étudiée ici se trouve au nord du Sénégal, en bordure du Ngalenka, affluent fossile du fleuve, dont la remise en eau pour l'irrigation est prévue lors de l'aménagement futur du site. Les structures morphologiques, issues des dépôts de crue et décrites par P. Michel (1973), sont cependant toujours visibles : limono-sableuses sur les bourrelets de berge ou les hautes levées, elles sont argileuses dans les cuvettes de décantation. Dans les horizons sous-jacents, on différencie les dépôts fluviaux actuels ou sub-actuels argileux à sableux, les dépôts quaternaires constitués principalement par des sables marins et des vases lagunaires du Nouakchottien et le substratum éocène ou continental terminal argileux à marno-calcaire (Illy, 1973). Les faciès de ces dépôts fluvio-marins peuvent être très variés.

L'étude géophysique présentée ici, a pour but de définir les caractéristiques géométriques de l'aquifère quaternaire superficiel, afin de prévoir l'implantation d'un réseau piézométrique qui permettra de mieux comprendre le phénomène de recharge de la nappe. Elle teste d'autre part l'adéquation de la méthode électrique à l'étude de ce type de terrain sédimentaire sub-saharien, présentant une variabilité de faciès complexe, latéralement et verticalement.

Acquisition des données

Trois des futurs périmètres ont été sélectionnés pour l'étude géophysique car ils présentaient des structures morphologiques nettes et linéaires, parallèles aux anciennes berges du Ngalenka. Ceci permettra d'étudier les variabilités éventuelles de faciès en fonction de la morphologie et de la distance au cours d'eau. Le niveau topographique des sites est peu variable (+5 m / cote zéro IGN en bordure du Ngalenka, +3 m / cote zéro IGN dans les points bas).

A l'aide d'un résistivimètre Syscal R2, 22 sondages de type Schlumberger ont été effectués, en juillet 1996, sur 3 profils perpendiculaires aux berges du Ngalenka, avec un pas de 50 à 200 m. Les lignes, de longueur maximum AB/2 de 500 m, sont tirées parallèlement aux berges et, donc, aux grandes structures morphologiques principales, afin de limiter les variations latérales de résistivité. Des mesures de résistivité réelle ont également été réalisées pour les horizons de surface à l'aide d'un dispositif de traîné de type Wenner (écartement des électrodes de 2 à 40 cm selon le terrain), sur des affleurements accessibles dans des fosses ou, pour les terrains les plus argileux, sur des échantillons de tarière non remaniés. De nombreux sondages à la tarière ont en effet permis d'estimer les profondeurs et les faciès des horizons superficiels. Ils atteignent les 6 premiers mètres dans les terrains les plus argileux (cuvettes) et les 2-3 premiers mètres dans les terrains les plus sableux (hautes et petites levées). Les seuls piézomètres disponibles étant à sec, l'extrapolation de données piézométriques a permis d'estimer le toit de la nappe à -5,5 m / niveau IGN, c'est à dire de -9 à -11 m par rapport au sol (A. Zanolin, 1996).

Résultats

❖ *Interprétation des sondages électriques*

Malgré l'absence de forages ou de sondages profonds permettant un calage, un modèle multicouche a permis l'interprétation précise de toutes les courbes de sondage. On a supposé la relative homogénéité en résistivité et en épaisseur des horizons profonds. Les résultats des trois profils étant assez similaires, seule la coupe des terrains électriques de l'un d'eux est présentée (**figures 1 et 2**). Elle est constituée :

- d'un terrain sub-superficiel assez conducteur, de résistivité variable (3 à 200 Ohm.m) et de 0,5 à 2 m d'épaisseur ;
- d'un deuxième terrain, de 4 mètres d'épaisseur environ, qui montre une résistivité très variable (de 50 Ohm.m sous les cuvettes à 2 500 Ohm.m sous les levées) ;
- d'un troisième terrain très conducteur (1,5 à 7 Ohm.m), dont l'épaisseur varie de 1 m sous les levées à 5 m sous les cuvettes, où il présente les résistivités les plus faibles ;
- d'un quatrième terrain de résistivité relativement similaire à celle du deuxième, forte et très variable (150 à 1 100 Ohm.m), qui apparaît uniquement sur les sondages hors-cuvettes ;
- d'un cinquième terrain de résistivité 30 Ohm.m, qui prend place entre -5 et -20 m / IGN ;
- d'un sixième terrain de résistivité 2,5 Ohm.m, qui atteint de 25 à 30 m d'épaisseur ;
- et d'un dernier terrain de 20 Ohm.m, qui apparaît à un niveau topographique de - 45 m / IGN environ.

❖ **Interprétation lithologique et hydrogéologique**

Les terrains superficiels montrent une forte variabilité latérale de résistivité, cohérente avec la forte variabilité de faciès des différents horizons (**figure 1**) :

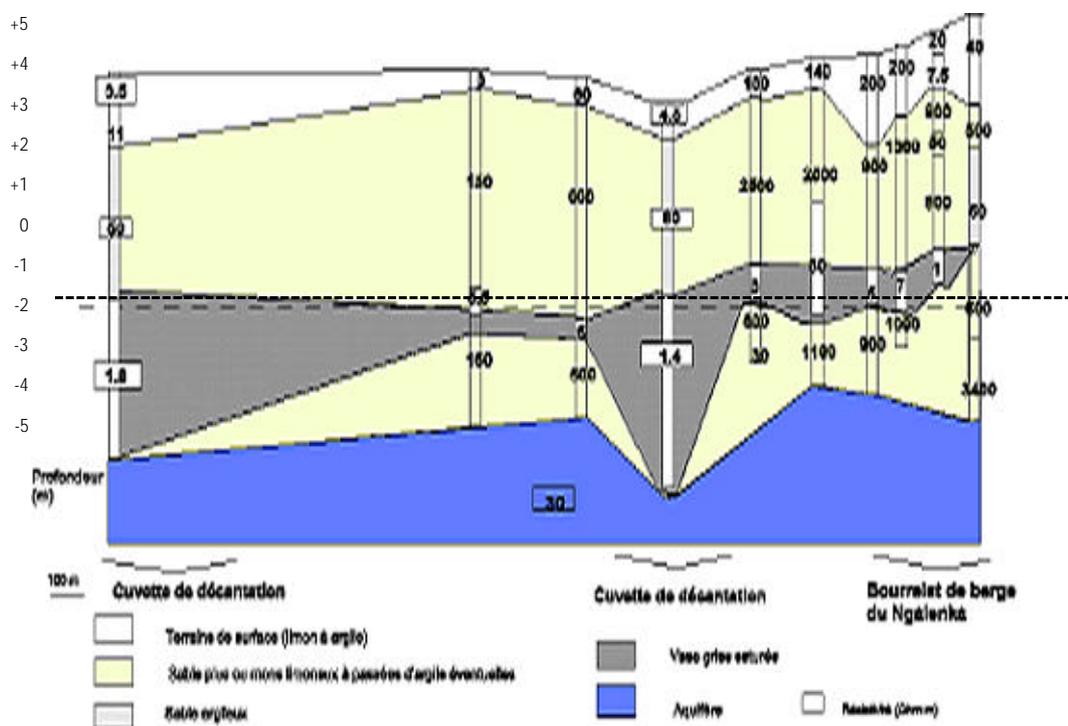


Figure 1 - Coupe et interprétation lithologique des terrains électriques de surface
 La variabilité latérale des résistivités met en évidence la corrélation entre la géomorphologie et le faciès des horizons superficiels :
 la proportion d'argile est beaucoup plus forte sous les cuvettes

- Le premier terrain sub-superficiel correspond aux dépôts fluviaux récents ; on retrouve le gradient granulométrique, à savoir des argiles de résistivité faible dans les cuvettes et des sables plus ou moins limoneux de résistivité plus forte sur les levées.
- Le deuxième terrain résistant correspond aux dépôts marins du Nouakchottien, constitués en majorité de sables fins. Les résistivités relativement faibles, obtenues sous les cuvettes, correspondent bien au faciès riche en argile et au plus fort taux d'humidité et/ou de sels, observés à la tarière.
- Le troisième terrain très conducteur correspond aux vases grises observées à la tarière dans les cuvettes et apparaissant dans d'autres zones de la région de Podor (Michel, 1973). Bien que non observé sous les levées, il a été nécessaire pour le calage de la plupart des courbes.
- Le niveau résistant sous-jacent dans les zones de levées correspondrait, de même que le deuxième terrain, aux dépôts marins quaternaires.

Les terrains les plus profonds sont homogènes latéralement (figure 2) :

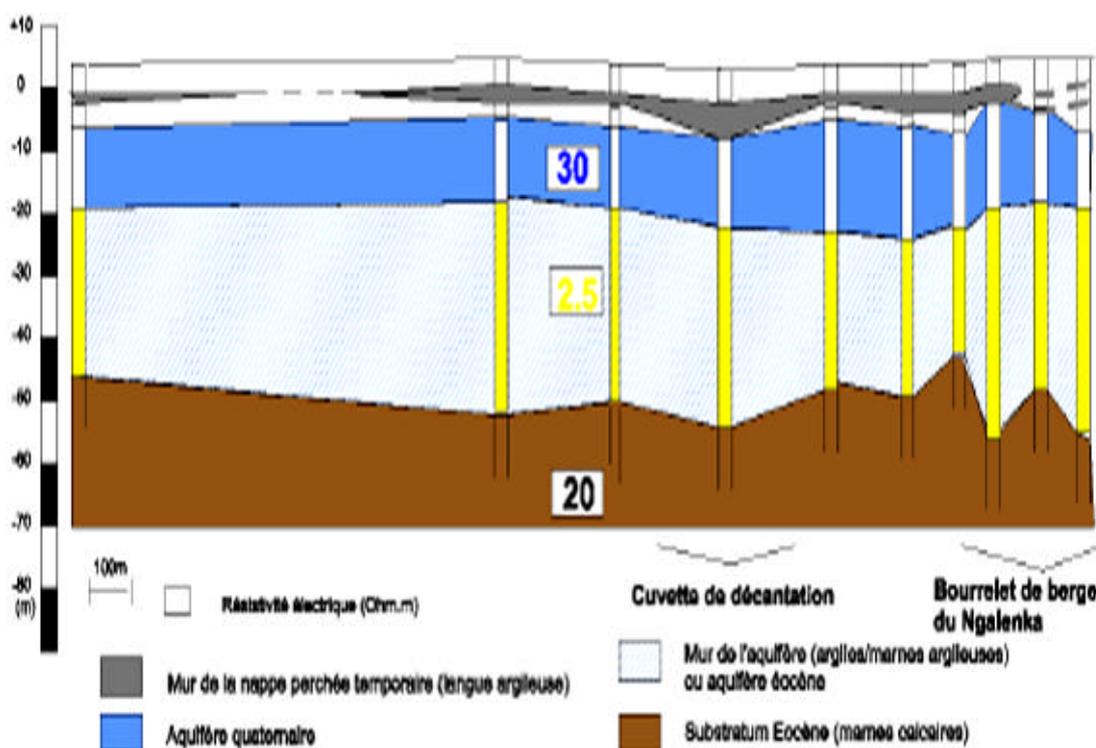


Figure 2 - Coupe et interprétation hydrogéologique des terrains électriques profonds

- Le cinquième terrain apparaît à une profondeur de -5 m / IGN environ, ce qui correspond au niveau piézométrique estimé. Il constituerait donc l'aquifère quaternaire.
- La résistivité très faible du sixième terrain, qui apparaît à -20 m / IGN, correspond à celle citée dans des études précédentes pour les marnes argileuses de l'Eocène moyen (Koussoubé, 1992 ; CGG, 1951 à 1957), que l'on rencontre à une cote de -25 m / IGN.
- La résistivité de 20 Ohm.m du dernier terrain, atteint à 45 m / IGN, correspond à la gamme de résistivité estimée dans les études antérieures pour les calcaires marneux de l'Eocène moyen ou inférieur (OMVS, 1990 ; CGG, 1951 à 1957 ; Illy, 1973) rencontrés entre 35 et 45 m / IGN sur les sondages profonds les plus proches.

Le toit de l'aquifère n'a pu être déterminé précisément par la prospection électrique. Il se situe vers -6 m / IGN. Le niveau de vases grises, dont la continuité à l'échelle de la parcelle n'est pas rigoureusement prouvée, pourrait constituer le mur d'une nappe perchée en période de crue, permettant une retenue d'eau importante dans les horizons superficiels. La dynamique de cette nappe superficielle pourrait donc être indépendante de l'aquifère sous-jacent.

Le mur de l'aquifère quaternaire se situerait sur notre site à une cote de -20 m. Sa puissance serait de 15 m environ et sa lithologie peut être assez variable. D'après sa résistivité relativement forte, il serait peu salé. Illy (1973) a cependant suggéré la possibilité de communication hydraulique entre l'aquifère quaternaire et un aquifère éocène. Les formations profondes pourraient donc constituer un compartiment aquifère relativement salé ou argileux, séparé ou non de l'aquifère sus-jacent par un horizon argileux imperméable.

Conclusion

Cette étude géophysique a permis de définir les caractéristiques géométriques de l'aquifère quaternaire. Il a été situé entre la cote -6 et -20 m / IGN environ, en basses eaux. Un niveau de vases grises pouvant constituer le mur d'une nappe perchée, en liaison ou non avec cet aquifère, a été décelé. On conseille l'implantation de piézomètres profonds crépinés de -20 m / IGN jusqu'au niveau de vases et l'implantation de piézomètres de surface crépiné à partir du niveau de vases. La lithologie du terrain sous l'aquifère doit de plus être vérifiée par un sondage carotté à plus de 25 m de profondeur (-20 m / IGN).

La prospection électrique a été effectuée sur une zone sédimentaire complexe et peu connue. Peu de données étaient disponibles sur les profondeurs et les paramètres (taux d'argile, présence de sels, présence d'eau) pouvant influencer sur les résistivités des terrains les plus profonds. En partant d'une hypothèse d'homogénéité de ces terrains, l'interprétation des sondages Schlumberger a cependant permis non seulement de préciser la géométrie de l'aquifère étudié, mais aussi de décrire assez précisément la variabilité de faciès des horizons superficiels. Ainsi, on a établi la corrélation entre la morphologie de surface et la teneur en argile des horizons compris entre 1 et 10 m de profondeur.

La méthode électrique semble donc être un outil particulièrement adapté à l'étude des formations superficielles du type de celles rencontrées dans la région étudiée. La corrélation avec les résultats obtenus par prospection électromagnétique, qui intègrent les deux premiers mètres de sol, devrait permettre une analyse fine et rapide des variabilités latérales et verticales, riches en information pour l'étude pédologique à venir.

Bibliographie

Boivin P., Dia I., Lericollais A., Poussin J.C., Santoir C., Seck S.M., 1995. Nianga, laboratoire de l'agriculture irriguée en moyenne vallée du Sénégal. Ateliers ORSTOM-ISRA à Saint Louis (Sénégal), du 19 au 21 octobre 1993. Editions de l'ORSTOM. Collection Coll. et Sém., 562 p.

C.G.G., 1951 à 1957. Bassin sénégal-mauritanien. Archives de la Direction de l'Hydraulique, Dakar.

Illy P., 1973. Etude hydrogéologique de la vallée du Fleuve Sénégal. Projet hydro-agricole du bassin du Fleuve Sénégal, RAF 65/061, 163 p. et annexes.

Koussobe Y., 1992. Application de la géophysique (électrique) à l'étude des aquifères alluviaux de la vallée du fleuve Sénégal (Nord Guiers, Dagana, Bas-Ferlo). Mémoire de DEA, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 75 p. et annexes.

Michel P., 1973. Les bassins des Fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Tomes 1,2 et 3, Mémoires ORSTOM.

OMVS-USAID, 1990. Répertoire hydrogéologique. Document annexe. Coupes géologiques et techniques. Projet OMVS-USAID, 625-0958.

Zanolin A., 1996. Etude de site pour l'implantation d'un réseau piézométrique sur périmètres irrigués (vallée du fleuve Sénégal). Mémoires de D.E.S.S., Université Grenoble I / ORSTOM Dakar, 70 p. et annexes.