

# **L**e contact eau douce-eau de mer entre Dakar et Saint-Louis (Sénégal). Une étude géoélectrique

**Same Diouf, Raymond Gomis, Joseph Tchani**

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

## **Abstract**

Resistivity methods were used with a vertical electrical sounding network to investigate the relationship between freshwater and saltwater along the northern coastline of Senegal, from Dakar to Saint-Louis.

The water-table aquifer lies in quaternary sands with very low piezometric heads, less than one meter near the coast. The depth of the saltwater interface, as revealed by the water resistivity using Archie's formula, is consistent with a gentle slope of the watertable towards the sea. Along the coast, different hydrogeologic conditions were found :

- in the northern section, the system is rather uniform, with a stable saltwater edge ;
- in the Cap Vert peninsula, saltwater intrusion has already begun due to pumping, and the aquifer is in a precarious condition, the saltwater edge seems to be presently blocked by a rise of the argillaceous basement.

The influence of groundwater abstraction and of evaporation in freshwater coastal lakes can clearly be seen on the electric and hydrogeologic measurements.

## Introduction

Une étude géophysique par sondages électriques a été effectuée le long de la côte entre Dakar et Saint-Louis, dans le cadre du projet "Gestion des nappes des Niayes" initié par le Département de Géologie de l'université Cheikh Anta Diop de Dakar en collaboration avec l'ORSTOM<sup>1</sup> et le CRDI<sup>2</sup>.

L'objectif de ce travail a été de déterminer, le long de la côte, la morphologie de l'interface entre aquifères à eau douce et aquifères salés afin d'identifier les secteurs vulnérables à l'invasion par l'eau de mer.

Pour cette région, soumise à une forte démographie, qui est extrême dans la région du Cap-Vert, la gestion de la nappe exigerait l'instauration d'un contrôle permanent de la salinité. Le risque reste d'autant plus fort qu'au cours des trente dernières années, le module pluviométrique annuel est passé de 500 à moins de 300 millimètres dans cette région.

## Les nappes des sables quaternaires

La nappe d'eau douce des sables quaternaires forme, entre Saint-Louis et Dakar (figure 1) une structure hydrogéologique continue en contact avec l'océan Atlantique. La côte, rectiligne, est caractérisée par une géomorphologie invariable. La plage très plate est bordée d'un cordon dunaire pouvant atteindre quinze à vingt mètres de hauteur sur une largeur de quelques centaines de mètres.

De nombreuses dépressions interdunaires appelées "niayes" s'étendent derrière le cordon de dunes littorales.

Inondées en période pluvieuse, ces dépressions correspondent à l'affleurement de la nappe phréatique (Pereira Barreto, 1962) et il s'y développe une végétation abondante. Les niayes sont le siège d'une activité de maraîchage très importante.



Figure 1 - Carte de localisation

## Résultats

Les sondages électriques ont permis de déterminer la morphologie de l'interface eau douce-eau salée. De très faibles variations de la charge hydraulique, inférieures au mètre sur la côte, ont pu être restituées par la loi de Ghyben-Hersberg en utilisant la profondeur du biseau salé, qui constitue une amplification de la pente piézométrique.

L'homogénéité lithologique des sables quaternaires a permis également l'utilisation de la loi d'Archie basée

<sup>1</sup> Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération.

<sup>2</sup> Centre de Recherche pour le Développement International (Canada)

sur un facteur de formation stable. La qualité des eaux a pu être déduite dans certains cas ou bien les variations de la porosité sont suggérées par les écarts obtenus.

L'analyse des coupes géoélectriques obtenues a conduit à l'identification de plusieurs zones hydrogéologiquement distinctes, soit par leur structure, soit par leur dynamique.

❖ **Au nord du profil de la grande côte, zone du delta du fleuve Sénégal**

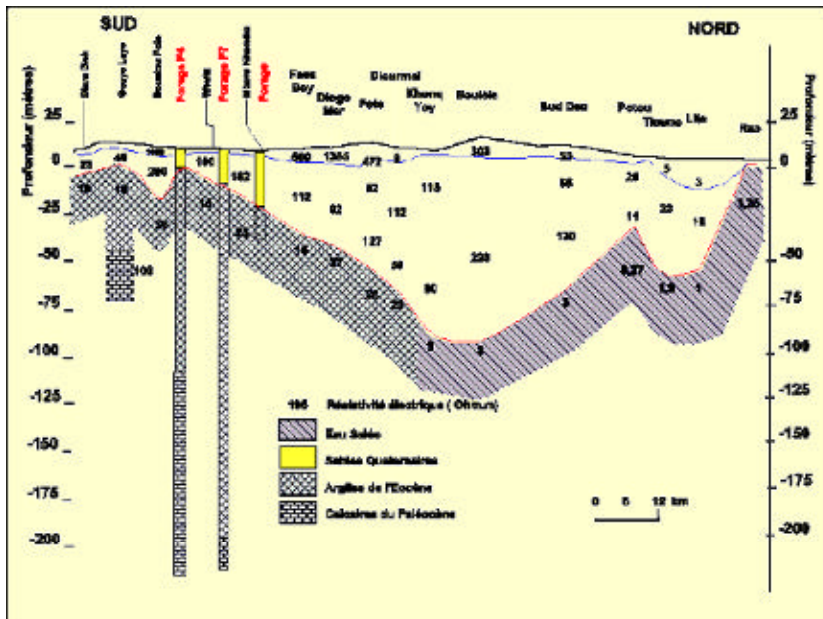


Figure 2 - Coupe géoélectrique interprétative le long de la grande côte du Sénégal (les valeurs de résistivité électrique, indiquées pour chaque site, sont en Ohm.m)

Cette zone est caractérisée par la présence de niveaux superficiels très conducteurs au-dessus d'un aquifère de sables à eau saumâtre surmontant une nappe salée à faible profondeur (figure 2). La salinité de ces eaux est due à une invasion marine par des chenaux dans lesquels l'eau salée se concentre par évaporation. En effet, l'eau de mer pénètre profondément en amont dans le fleuve durant la saison sèche.

Lors des crues, une partie de cette eau salée est refoulée dans les nombreux défluent du delta et s'y évapore.

La loi d'Archie appliquée au sondage de Lite a permis de déterminer les résistivités de l'eau d'imbibition des horizons sableux qui sont de 0,63 Ohm.m (caractéristique de l'eau de mer) et de 3,34 Ohm.m (caractéristique de l'eau saumâtre) pour une porosité efficace des sables de 30% et un coefficient de cimentation 1,3 (Meyer de Stadelhofen, 1991)

❖ **Au centre du profil de la grande côte, entre Sud Dao et Fote**

On a un important aquifère de sables à eau douce surmontant une nappe salée située entre 70 et 108 mètres de profondeur (figure 2). Il se développe dans une fosse subsidente qui représente l'extrémité sud orientale d'une dépression synclinale vers la côte. La mise en évidence du biseau salé entre Toro Beye et la mer (figure 3) permet une estimation de la cote piézométrique qui serait de 0,63 m à Potou, 1,5 m à Longor et 1,8 m à Toro Béye.

Suivi du fonctionnement et du comportement (pollution, risque...)

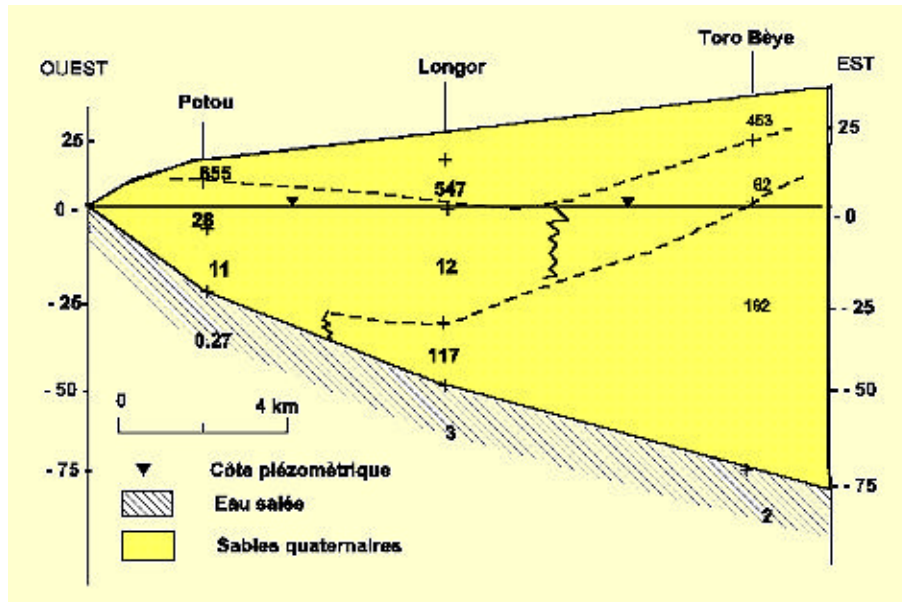


Figure 3 - Mise en évidence du biseau salé entre Tora Bèye et la mer  
(les valeurs de résistivité électrique, indiquées pour chaque site, sont en Ohm.m)

#### ❖ Au sud du profil de la grande côte

Cette zone de horst, déterminée par les failles sub-méridiennes (Martin, 1970) se caractérise par une faible épaisseur des sables, limitée par la remontée d'un substratum résistant correspondant aux argiles de l'Eocène inférieur (Fall, 1986) et progressant vers le sud (figure 2).

Cette épaisse couche d'argile de porosité cinématique nulle et de perméabilité très faible (environ  $5 \cdot 10^{-8}$  m/s) par rapport aux sables ( $6 \cdot 10^{-2}$  m/s), constitue une barrière naturelle contre l'avancée du biseau salé dans ce secteur : les réserves sont relativement faibles et exploitées par puits dans ce secteur.

#### ❖ La presqu'île du Cap-Vert

Elle est soumise à un risque de pollution marine en raison des possibilités de communication entre eau douce et eau de mer, puisque le mur des sables quaternaires s'approfondit à nouveau jusqu'à 70 m. Il existe plusieurs zones d'exhaure et un système complexe de lagunes et de lacs côtiers. Ainsi, la morphologie du biseau salé est très importante pour étudier la dynamique de la nappe. Deux cas sont analysés :

##### ➔ Effet dû à l'exploitation à Ber Tialane

La Société Des Eaux (S.D.E), antérieurement dénommée SONEES, exploite une batterie de 5 forages dans la vallée fossile de Ber Tialane. L'exploitation du forage F5 (figure 4) ayant été abandonnée en raison d'une contamination saline, les sondages électriques ont confirmé la remontée du biseau salé jusqu'à 78 m de profondeur. Un seuil argileux, déterminé aussi par la méthode électrique, protège encore la zone d'extraction des forages F1, F2, F3 et F4, mais une remontée du biseau de 18 m pourrait être catastrophique pour cette zone.

L'étude de ce secteur a constitué un test des méthodes d'interprétation puisque l'utilisation de la loi de Ghyben-Herzberg a permis, pour ce secteur, de retrouver la pente générale de l'aquifère ( $2 \cdot 10^{-3}$ ), qui correspond à la valeur cartographiée. Par ailleurs, la validité de l'application de la loi d'Archie a été vérifiée en comparant les résistivités de l'eau calculées pour l'aquifère avec les conductivités des eaux mesurées avant distribution.

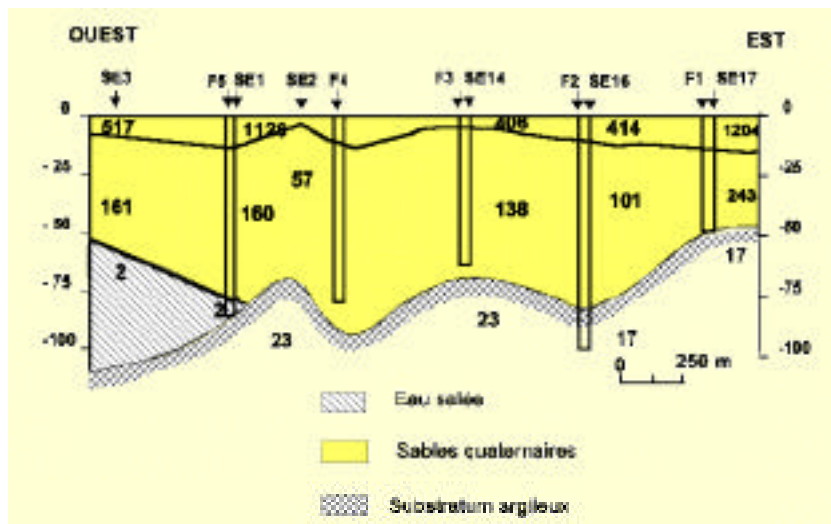


Figure 4 - Coupe géoélectrique de Ber Tialane  
(les valeurs de résistivité électrique, indiquées pour chaque site, sont en Ohm.m)

→ Le système dunaire et la grande niaye de Pikine

Les coupes géoélectriques ont permis de caractériser les mécanismes régissant l'équilibre de la nappe des sables qui occupe le tombolo de la presqu'île du Cap-Vert.

L'aquifère à eau douce (60 Ohm.m) sous le cordon dunaire de Cambéréne (2 800 Ohm.m) forme une zone de recharge tandis que la grande niaye est caractérisée par la remontée de l'interface eau douce-eau salée (figure 5). Les niveaux piézométriques calculés pour l'ensemble des 15 sondages électriques à partir de la profondeur du niveau salé montrent clairement le rôle de drain par évaporation joué par la niaye qui présente une surface d'eau libre permanente.

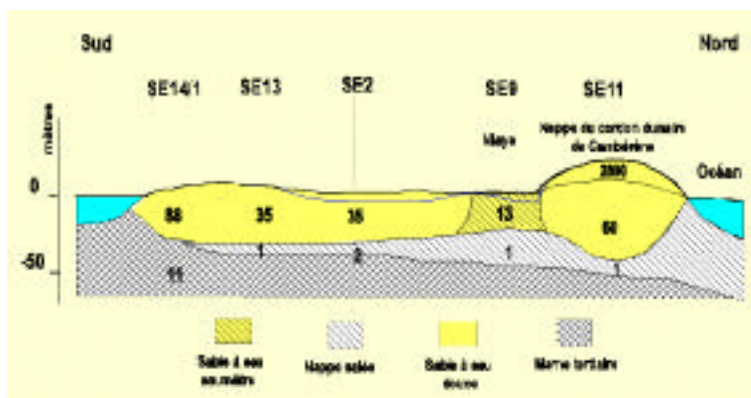


Figure 5 - Interprétation hydrogéologique de la coupe géoélectrique du tombolo de Pikine  
(les valeurs de résistivité électrique, indiquées pour chaque site, sont en Ohm.m)

La loi d'Archie, appliquée à ces 15 sondages électriques, permet de calculer la résistivité électrique de l'eau de nappe. La comparaison avec les mesures de résistivité, réalisées dans les céanes (puits peu profond), a permis de différencier plusieurs zones de l'aquifère salé suggérant des variations latérales probables du taux d'argile (tableau 1).

N° sondages électriques	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Résistivité calculée (eau de la nappe)	7,8	5,6	5,4	23	52,3 faible	très	5,6	26	6	23,2	23,2	23,2	5,6	23	11,63
Résistivité mesurée (céanes)	1,44	5,6	1,08	1,45	9,01		5,6	1,45	6				5,58	5,2	11,63

Tableau 1 - Résistivité (en Ohm.m) de l'eau de la nappe déduite de l'application de la loi d'Archie et mesurée dans les céanes

La zone exploitée, en communication avec la nappe de Cambérène, montre une résistivité de l'eau de la nappe exploitée stable, de l'ordre de 23 Ohm.m, correspondant ainsi à une porosité comprise entre 19% et 35%.

### Conclusion

Ce type d'étude montre l'intérêt hydrogéologique de la méthode électrique qui pourrait être utilisée pour suivre l'évolution des équilibres des nappes côtières exploitées.

### Bibliographie

Fall M., 1986. Environnements sédimentaires quaternaires et actuels des tourbières des niayes de la grande côte du Sénégal. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle UCAD, 182 p.

Martin A., 1970. Les nappes de la presqu'île du Cap-Vert. Leur utilisation pour l'alimentation en eau de Dakar. Publ. B.R.G.M, 49 p.

Meyer de Stadelhofen C., 1991. Application de la géophysique aux recherches d'eau. Lavoisier, Paris, 183 p.

Pereira-Baréto S., 1962. Etude pédologique des "Niayes" méridionales (entre Cayar et MBoro). Rapport Général ORSTOM.

### Remerciements

Nous remercions P. Mourgues du laboratoire de Géophysique du centre ORSTOM de Dakar pour de fructueuses discussions sur l'ensemble du travail. Nous remercions aussi C.B. Gaye, responsable du 3<sup>ème</sup> cycle, pour l'organisation des travaux de terrain et pour le suivi de l'étude. Nos remerciements vont à M. Dukhan pour sa participation à la mise en forme des figures.