

Application des méthodes électriques lacustres et terrestres à l'étude d'un aquifère côtier

Ludovic BARON, Dominique CHAPPELLIER

Institut de Géophysique, Université de Lausanne, CH-1015 Lausanne, Suisse

Introduction

Le projet européen NAME (Nitrate from Aquifers and influence on carbon cycling in Marine Ecosystems) regroupe des hydrogéologues, géophysiciens, géochimistes et biologistes marins appartenant à différentes universités et instituts de recherches (DHI, Technical University of Denmark, Ribe County, Danemark ; Netherlands Institute of Ecology, Netherlands ; Max Planck Institute, Allemagne, Université de Lausanne, Suisse). Le rôle de l'azote dans l'eutrophisation des milieux marins côtiers est bien documenté (Horwarth *et al.*, 1996). De plus, il apparaît que l'utilisation des fertilisants sur les terrains agricoles induit l'augmentation des concentrations des nitrates dans l'aquifère (Postma *et al.*, 1991).

L'apport en nitrates, nutriments, dans l'environnement marin peut être évalué grâce aux mesures de leurs flux provenant des fleuves côtiers et des estuaires (Bussman *et al.*, 1999 ; Hussain *et al.*, 1999). Une proportion significative de ces nitrates est alors dégradée naturellement par dénitrification dans l'estuaire. Cependant l'apport des nutriments polluants s'effectue aussi directement de l'aquifère dans l'estuaire. Pour qu'une quantification précise de l'apport en nitrate subit par un estuaire soit envisagée, l'apport par transport convectif du milieu poreux vers le milieu marin ne doit pas être négligé.

La méconnaissance des processus qui interviennent à l'interface eau douce – eau salée associée à l'augmentation des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines, il semble nécessaire d'approfondir ce sujet pour la gestion des environnements côtiers. Une zone d'étude pilote a été choisie dans le sud-ouest du Jutland, au Danemark (Gregersen, 2002). La côte forme à cet endroit un estuaire appelé Ho Bay (voir Figure 1).

Plus précisément, la modélisation hydrogéologique des flux souterrains et des caractéristiques de la nappe phréatique nécessite une description précise de la géométrie de la base de l'aquifère.

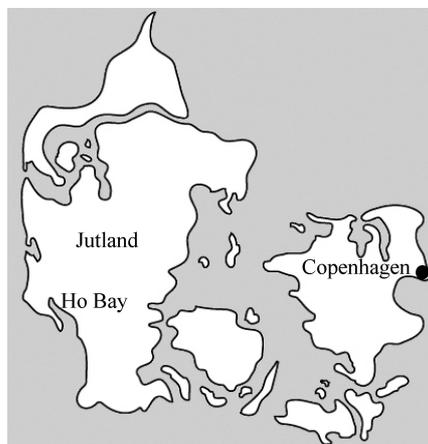


Figure 1 : Localisation du site test du projet NAME.

Sondages électriques

Des sondages électriques Schlumberger (SE) ont été effectués, trois faciès géoélectriques se sont distingués : le sable non-saturé, de résistivités de plus de 500 $\Omega.m$, les sables saturés, de résistivités comprises entre 80 et 200 $\Omega.m$ et les argiles d'une résistivité proche de 10 $\Omega.m$ (voir Figure 2). Ces faciès sont confirmés par des observations géologiques effectuées sur des affleurements ou des forages répartis sur la zone d'étude (Gregersen, 2002).

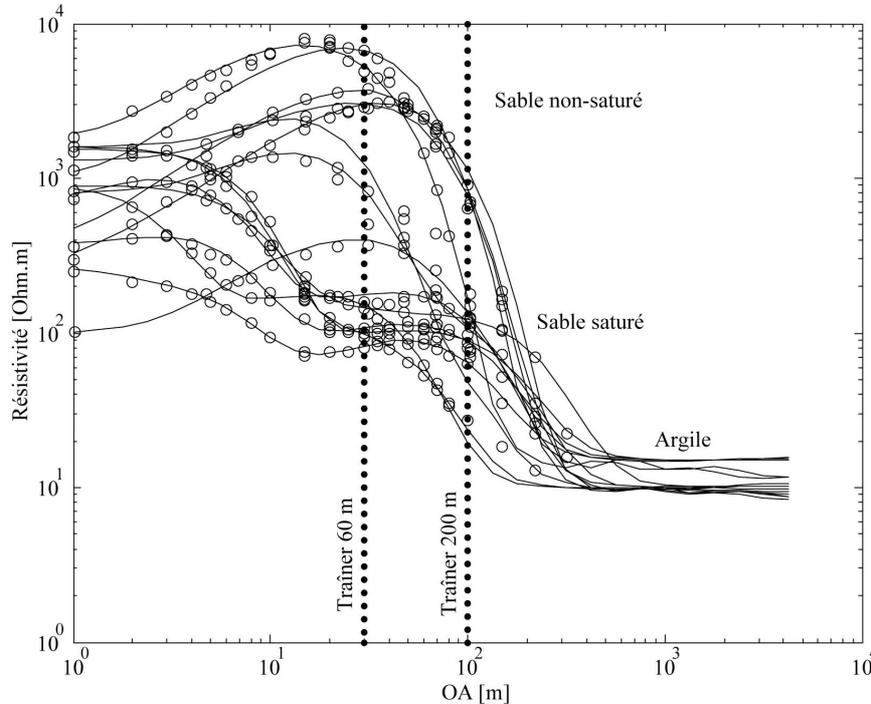


Figure 2 : Sondages électriques effectués sur la zone d'étude (points) et leurs interprétations conduisant à trois faciès géoélectriques.

Traîners

Deux campagnes de traîner, de 60 et 200 m, ont été entreprises pour décrire la répartition des résistivité observées lors des sondages. Les longueurs de lignes ont été choisies au vu des résultats des sondages électriques, la première pour décrire les variations de saturation et la seconde pour mettre en évidence les variation de la base de l'aquifère fixée par la profondeur du toit des argiles (voir Figure 2). Les résultats du traîner de 60 m montrent des variations de saturation dans les sables qui, pour l'essentiel, ont des causes topographiques. Ces résultats sont aussi affectés par des argiles subaffleurantes au centre de la zone d'étude (voir Figure 3).

Profils multi-électrodes

22 profils ont été effectués jusqu'alors sur l'ensemble de la zone étudiée. Leurs inversions, calculées grâce au logiciel Res2Dinv (Loke et Barker, 1996), conduisent aux mêmes conclusions que les sondages électriques : une couche conductrice de 5 à 20 $\Omega.m$ est sous-jacente à l'ensemble du terrain d'étude. La profondeur du toit de cette formation est interprétée sur chaque inversion et fournit un modèle dans lequel les argiles se situent entre 0 et 70 m de profondeur (voir Figure 4).

Profils multi-électrodes soumarins

Une acquisition sous-marine de profils de résistivité apparente a été entreprise en utilisant une flûte de 10 électrodes en cuivre (voir Figure 5) traînées entre 2 et 4 km/h au fond de l'eau sur la partie immergée de la zone d'étude (Baron et Chapellier, 2002). Cette technique utilise un

demi sondage Schlumberger inversé de 7 longueurs de ligne de à chaque point d'acquisition (Lagabrielle, 1983). L'inversion est faite en temps réel à chaque point d'acquisition et fournit, grâce à un modèle à 3 couches (l'eau, une couche intermédiaire et la couche d'argile), la profondeur de la couche de sable saturée en eau douce, si elle existe, sous le fond de la mer. Ainsi, en interpolant ces différentes épaisseur d'eau douce sous le fond de la mer, il est possible de décrire, pour la partie immergée du terrain, la géométrie de l'aquifère d'eau douce (voir Figure 4).

Conclusion

Une concordance entre la géométrie du fond de l'aquifère apparaît en comparant les résultats obtenus le long de la côte par les acquisitions terrestres et marines. Le creusement de l'aquifère de 30 m au centre est mis en évidence par ces deux techniques (voir Fig. 4). L'interprétation des données géoélectriques conduit à une évaluation quantitative de la cote de la base de l'aquifère, aux alentours des profils, répondant ponctuellement aux attentes des hydrogéologues. Cependant, de nouvelles acquisitions terrestres et marines sont en cours pour combler les zones vierges d'informations.

Références

- Baron L., Chapellier D., 2002. Preliminary result of resistivity measurements for the NAME project (Nitrate from Aquifers and influence on carbon cycling in Marine Ecosystems). *Proceedings of the 8th meeting of the EEGS-ES, Aveiro.*
- Bussman I., Dando P.R., Niven S.J., Suess E., 1999. Groundwater seepage in the marine environment: role of mass flux and bacterial activity. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 178, 169-177.
- Gregersen J., 2002. Discharge of nitrate-bearing groundwater into the marine environment. *Coastline*, 11, 4, 12-14.
- Hussain N., Church T.M., Kim G., 1999. Use of ²²²Rn and ²²⁶Ra to trace groundwater discharge in Chesapeake Bay. *Mar. Chem.*, 65, 127-134.
- Lagabrielle R., 1983. The effects of water on direct current resistivity measurements from sea, river or lake floor. *Geoexploration*, 21, 161-170.
- Loke M.H., Barker R.D., 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.
- Howarth R.W., Billen G., Swaney D., Townsend A., Jaworski N., Lajtha K., Downing J.A., Elmgren R., Caraco N., Jordan T., Berendse T., Freney J., Kudryarov V., Murdoch P., Zhao-Liang Z., 1996. Regional nitrogen budgets and riverine N and P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean : Natural and human influences. *Biogeochemistry*, 35, 75-139.
- Postma D., Boesen C., Kristiansen H., Larsen F., 1991. Nitrate reduction in an unconfined sandy aquifer: water chemistry, reduction processes and geological modelling. *Water Resour. Res.*, 27, 2027-2045.

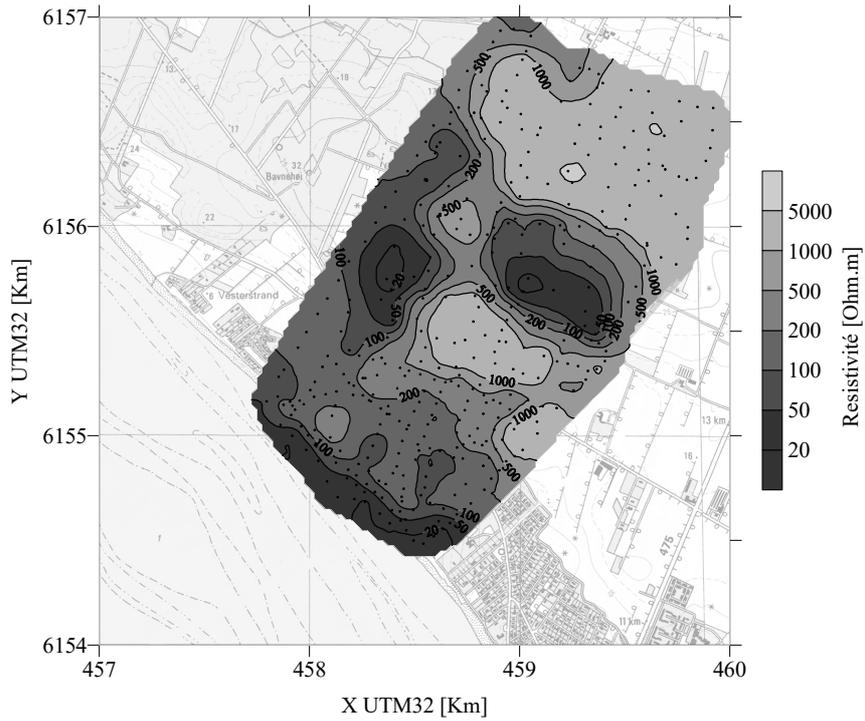


Figure 3 : Résistivités apparentes obtenues à l'aide du traîné 60 m.

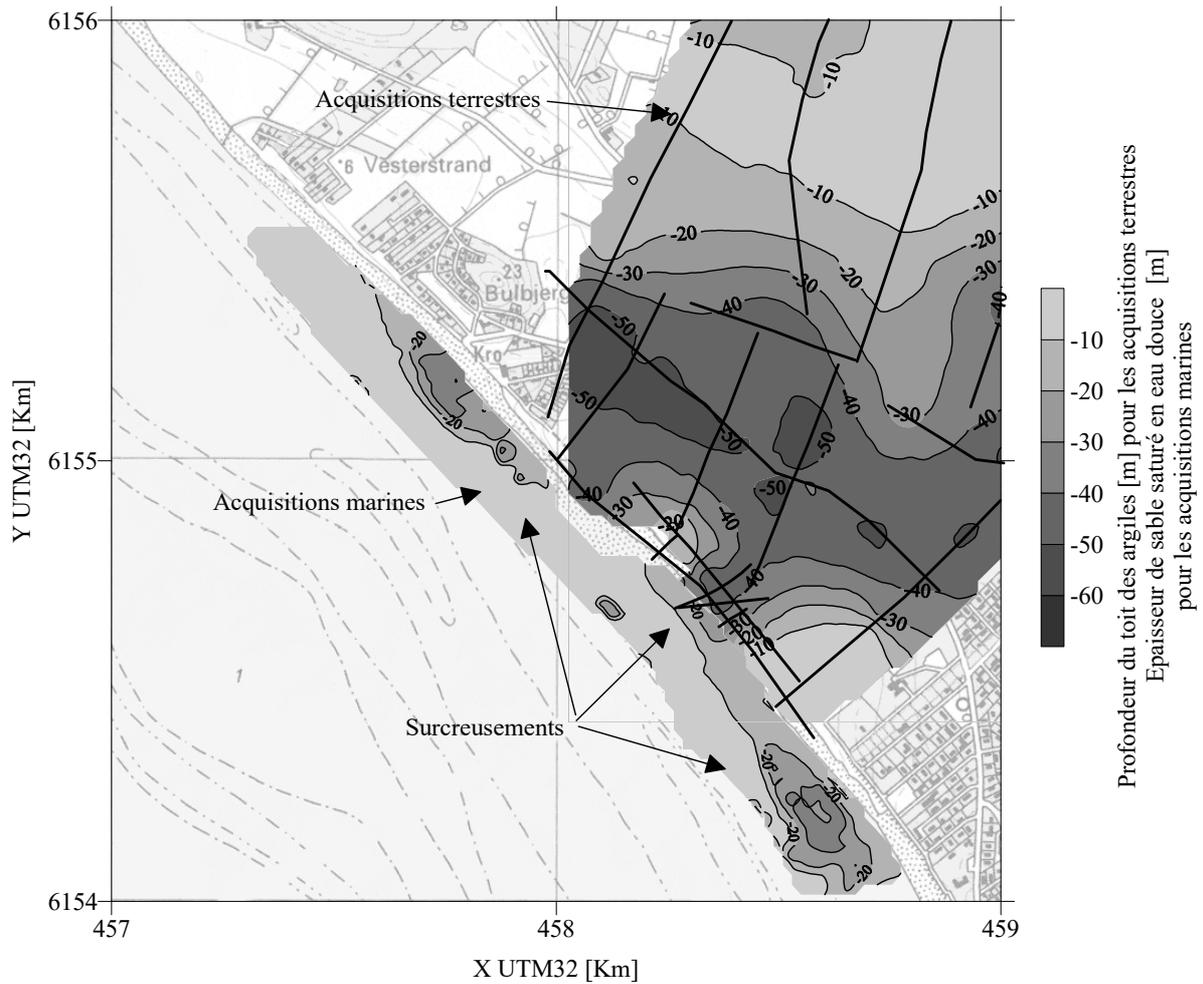


Figure 4 : Géométrie de la base de l'aquifère d'eau douce.

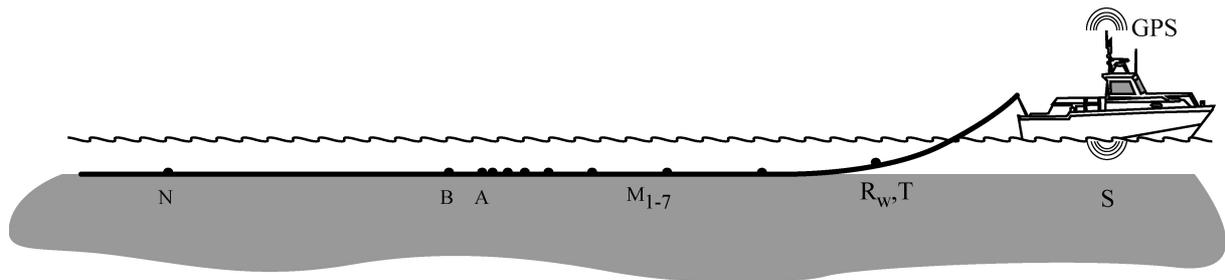


Figure 5 : Description schématique du câble d'acquisition sous-marin. A et B représentent les électrodes d'injection, N et M₁₋₇ représente les électrode de potentiel (AM₁₋₇ s'étageant de 1 à 50 m) R_w, T, S et GPS représentent respectivement les sonde de température et de résistivité du fluide le sonar et le system de positionnement.