

Mesure continue de la topographie littorale par imagerie de résistivité électrique

Lorraine CHOPPIN¹, Sergio PALMA LOPES², Roland MAUPIN³, Jean Christophe GOURRY¹, Rodrigo PEDREROS¹, Mélanie BRANGIER¹

¹Bureau de Recherche Géologique et Minière, 3 av. Claude-Guillemin, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2

²Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, BP4129, 44341 Bouguenais Cedex

³Géomarine, 4 av. du 8 Mai 1945, 17630 La-Flotte-en-Ré

Abstract

Topographic survey techniques in coastal environments do not provide easy means of monitoring sedimentary evolutions. A geoelectrical method was suggested: using a multi-electrode cable embedded in the sediment under the sediment-seawater interface, electrical resistivity imaging surveys are regularly recorded, then analysed in order to quantify the topographic changes at the interface. The feasibility of this rather economical method was investigated, and its sensitivity was assessed: the spatial resolution appears to be encouraging, although it needs to be refined through complementary numerical modelling. An *in situ* validation experiment is being carried out on real scale. The first results draw our attention to the variability parameters to be taken into account. Finally, a specific inversion tool focusing on the interface resolution may need to be developed.

Problématique

Actuellement, le suivi topographique des zones sédimentaires littorales est ponctuel et limité : les profils topographiques terrestres, en zones découvertes par la marée, et les profils bathymétriques au sondeur embarqué, limités aux zones où la tranche d'eau est supérieure à 5 m et par mer peu agitée. Or l'essentiel de la dynamique sédimentaire à court terme se déroule dans la zone de déferlement, souvent inaccessible et peu profonde. Les variations d'un profil de plage au cours d'une tempête et son retour à l'équilibre peuvent rarement être suivies. Les modèles numériques d'hydrodynamique sédimentaire, qui visent à prévoir l'évolution des morphologies littorales et du trait de côte, manquent de données de validation. L'érosion ou l'engraissement des plages touristiques, la mauvaise connaissance de l'envasement des ports, ont un impact sur le développement durable des zones côtières. Il y a donc un intérêt socioéconomique à développer un outil de suivi continu des mouvements sédimentaires sur des sites peu accessibles, à diverses échelles de temps et d'espace.

Après avoir exposé et discuté la méthode de suivi proposée, les étapes préliminaires de l'étude de faisabilité sont brièvement décrites. Enfin, la phase actuelle de validation *in situ* est présentée.

Méthode de suivi et discussion

La technique proposée (Maupin *et al.*, 2002) consiste à effectuer des panneaux électriques, déclenchés à une cadence prédéfinie, à partir d'une ligne multiélectrodes installée sous l'interface eau-sédiment (Figure 1). Les caractéristiques du système sont déterminées selon l'application et le site : une ou plusieurs lignes électriques parallèles, espacement et profondeur d'enfouissement des électrodes. Les électrodes sont précisément repérées lors de l'installation. Puis des panneaux électriques sont enregistrés et analysés par comparaisons afin de quantifier les variations de topographie. Des relevés topographiques permettent de recalculer régulièrement la méthode.

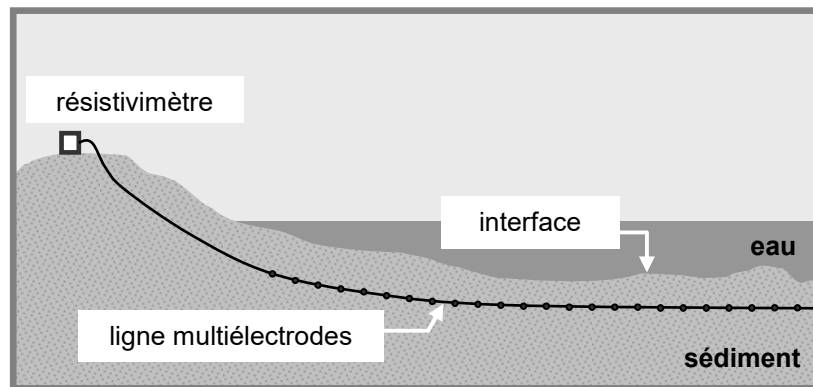


Figure 1 : Schéma de principe de la méthode d'imagerie électrique d'une interface eau-sédiment.

Cette technique est économiquement intéressante (instrumentation simple) et durable (seuls le câble et les électrodes séjournent en milieu marin). La prospection électrique en site aquatique (Baumgartner, 1996 ; Lagabrielle, 1984) a montré son efficacité pour caractériser la première couche sédimentaire, grâce au contraste de résistivité entre l'eau et le sédiment. Dans le cas d'une ligne électrique enfouie, on espère une meilleure sensibilité puisque les électrodes se trouvent dans le milieu le plus résistif, l'eau jouant le rôle « d'anomalie conductrice ». Notons qu'un brevet (Ridd *et al.*, 1991) proposait déjà des dispositifs ponctuels pour mesurer localement la position d'une interface eau-sédiment.

En contrepartie, on doit s'attendre à une résolution conforme à la prospection électrique, méthode intrinsèquement intégrante et *a priori* moins indiquée que les méthodes de propagation pour localiser une interface. En particulier, la mesure est sensible à toute évolution de l'encaissant autour des électrodes. Enfin le milieu très conducteur impose de forts courants d'injection (de l'ordre de l'Ampère).

L'interprétation quantitative avec les outils d'inversion électrique actuellement disponibles peut s'avérer insuffisante. Tout d'abord parce que les électrodes sont ici enfouies suivant une ligne horizontale, configuration peu courante. Ensuite et surtout parce qu'en ajustant une répartition des résistivités dans le milieu, on aboutit à un modèle de terrain dont l'interface eau-sédiment est mal définie. Une étude comparative avec des outils d'inversion plus focalisés sur l'interface doit donc être menée.

Étapes préliminaires

Pour estimer la sensibilité de la méthode, plusieurs phases de modélisations numériques (non détaillées ici) et deux expérimentations à des échelles différentes ont été menées.

Un modèle réduit a d'abord été réalisé en cuve, avec du sable saturé d'eau douce dans lequel a été noyée une ligne de 16 électrodes espacées de 4 cm (Maupin *et al.*, 2002). Le contraste de

résistivité entre l'eau et le sédiment saturé était d'environ 3. Diverses évolutions topographiques ont été simulées, à profondeur d'enfouissement et hauteur d'eau variables.

Puis une expérimentation en site naturel a été montée sur une plage sablo-vaseuse proche de Nantes (contraste de résistivité environ 5), avec une ligne de 24 électrodes espacées de 50 cm et initialement enfouies à 50 cm sous la surface de la plage. Des évolutions topographiques naturelles ou provoquées ont été suivies pendant plusieurs semaines (Naar, 2002).

À contrastes de résistivité comparables, et à des échelles plus susceptibles d'être rencontrées (par ex. électrodes espacées de 2 m, enfouies à 2 m), on espère pouvoir décrire l'interface avec une résolution verticale de 20 cm et une résolution latérale inférieure ou égale au mètre. Des modélisations numériques supplémentaires, calées sur ces résultats expérimentaux, vont permettre d'affiner la résolution et les limites de la méthode.

Validation *in situ*

Une validation à plus grande échelle est en cours sur la plage du Truc Vert (Cap Ferret, 33). La large gamme de résistivités observées sur ce site et leur variabilité en fonction des paramètres liés à la marée (biseau salé) et aux conditions météorologiques (nappe d'eau douce, agitation de la mer) rendent l'interprétation plus délicate.

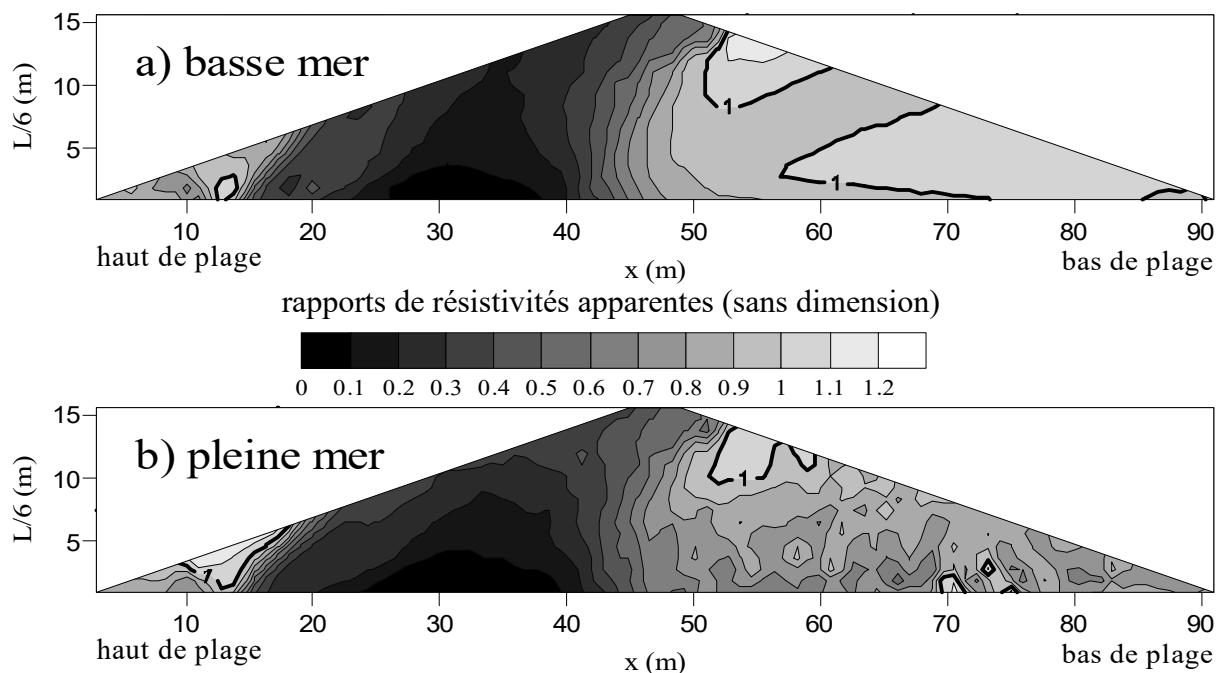


Figure 2 : Division des pseudosections *Wenner* du 21 janvier 2003 par celles du 19-XII-2002 : a) à basse mer, b) à pleine mer. x est l'abscisse du milieu du dispositif, L est sa longueur.

La ligne électrique, implantée en décembre 2002 perpendiculairement au trait de côte, comporte 48 électrodes espacées de 2 m et repérées au GPS différentiel. La profondeur initiale des électrodes est de 0,8 m en bas de plage à 1,5 m en milieu de plage. La partie haute du système remonte jusqu'à la dune, à 0,3 m sous la surface, et n'est jamais recouverte par la mer. Deux fois par mois, des profils topographiques de la plage sont relevés et des panneaux électriques sont enregistrés pendant un cycle de marée. Divers types de dispositifs sont actuellement testés (*Wenner*, *Wenner-Schlumberger*...), l'objectif étant d'optimiser la résolution tout en limitant la durée d'acquisition d'un panneau.

La figure 2 montre un exemple de rapports entre panneaux électriques *Wenner* réalisés à deux dates différentes. La topographie du 21 janvier 2003 accusait un déficit de sédiment de 5 à 30 cm par rapport au 19 décembre 2002, entre les abscisses 45 et 62 m. La mer était calme le

19 décembre et n'est pas montée au-delà de 50 m, tandis qu'elle était agitée le 21 janvier, la ligne d'eau oscillant entre les abscisses 45 et 15 m à marée haute. Si on ajoute à cela les différences de conditions météorologiques (temps sec autour du 19 décembre, pluies intenses les 20 et 21 janvier), il est clair que la saturation du sédiment par l'eau de mer et par la nappe d'eau douce devait être plus importante le 21 janvier que le 19 décembre en haut de plage. Ceci est visible sur le rapport à basse mer (a), avec des valeurs nettement inférieures à 1 pour les abscisses inférieures à 50 m. Le bas de plage (de 50 à 90 m) est assez comparable entre les deux dates (valeurs voisines de 1). Sur le rapport à pleine mer (b), on voit apparaître des zones plus conductrices le 21 janvier (valeurs inférieures à 1), pour les faibles profondeurs d'investigation, en particulier entre 50 et 70 m. Celles-ci peuvent être des signatures du déficit de sédiment, qui rapproche les électrodes de l'eau conductrice. Cependant, l'effet observé est faible, et les données sont bruitées, probablement par l'agitation de la mer le 21 janvier.

Conclusion

Une méthode géoélectrique a été proposée pour le suivi topographique continu des zones littorales peu accessibles : une ligne multiélectrodes installée sous l'interface eau-sédiment permet l'acquisition de panneaux électriques pour imager les évolutions de cette interface. Cette technique est économiquement intéressante. Sa faisabilité a été étudiée et la résolution spatiale est encourageante. La résolution sera encore précisée par des modélisations numériques calées sur l'expérience. Une campagne de validation *in situ*, à échelle réaliste, est en cours. Celle-ci met en évidence les paramètres d'influence liés au site et dont il faut tenir compte. Enfin, le développement d'un outil spécifique d'inversion peut s'avérer nécessaire.

Références

- Maupin R., Palma Lopes S., Papin I., Alexandre J., 2002. Suivi des évolutions topographiques en environnement littoral et fluvial par imagerie de résistivité : étude en modèle réduit. *VII^{èmes} Journées nationales « Génie Côtier, Génie Civil »*, Anglet, mai, 8 p.
- Baumgartner F., 1996. A new method for geoelectrical investigations underwater. *Geophysical Prospecting*, 44, 71-98.
- Lagabrielle R., 1984. La prospection électrique par courant continu en mer. *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 132, 7 p.
- Ridd P.V., Nicol J.L., Wolanski E., 1991. Method and apparatus for monitoring changes in underwater sediment levels. *United States Patent document*, n°5, 032, 794, 13 p.
- Naar S., 2002. Étude de faisabilité d'une méthode de mesure en continu de la topographie en environnement littoral par imagerie de résistivité électrique. *Mémoire de DEA de Géosciences*, Université de Rennes I, 25 p.

Remerciements :

- Cette étude s'effectue dans le cadre du Programme National Environnement Côtier.
- Les auteurs tiennent à remercier l'équipe de l'EPOC-Université de Bordeaux, pour leur soutien logistique et les données topographiques.