



affaire n°C17OB0559

**Auscultation géophysique d'un cordon dunaire en
pied d'ouvrage de protection**

Historique des versions des documents

Version	Date	Commentaire
1	13/04/18	

Affaire suivie par :

Raphaël Bénot – Cerema / Direction territoriale Ouest

Département Laboratoire de Saint-Brieuc – Groupe Risques Naturels et Littoraux – activité
Géologie-géophysique

Raphael.Benot@cerema.fr– Tél : 02 96 79 45 59 / 06 63 34 46 73

Rédacteur :

Raphaël Bénot – Cerema / Direction territoriale Ouest

Département Laboratoire de Saint-Brieuc – Groupe Risques Naturels et Géophysique

Raphael.Benot@cerema.fr– Tél : 02 96 79 45 59 / 06 63 34 46 73

Validation :

Date	Nom du valideur	Commentaire

Mots-clés :

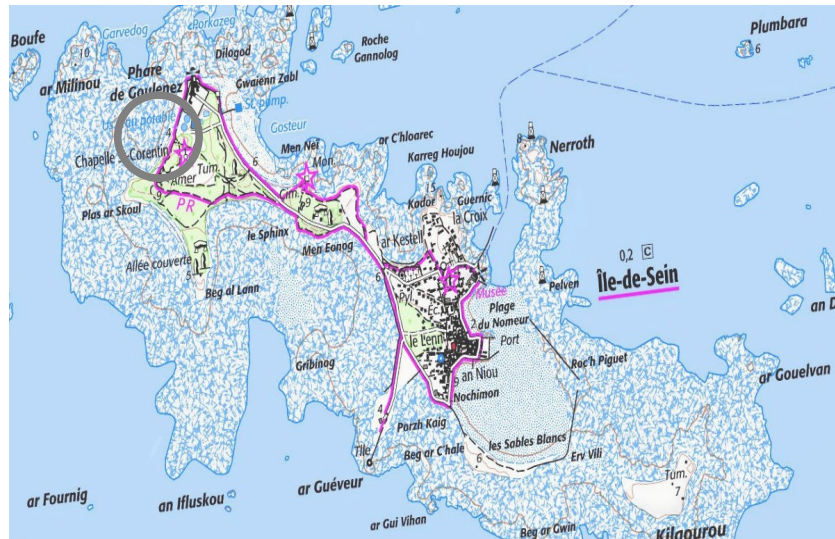
Sommaire

1 - Objet de la demande et contexte.....	4
2 - Principe de la Tomographie de Résistivité Electrique.....	5
3 - Réalisation des mesures.....	6
4 - résultats et interprétation.....	7
5 - Conclusion.....	8

1 - Objet de la demande et contexte

A la demande de la Mairie de l'île de Sein, le Département Laboratoire de Saint-Brieuc (DLSB) de la DterOuest a procédé à l'auscultation d'un cordon dunaire au pied d'un ouvrage de protection pour localiser la présence du substratum.

- Localisation



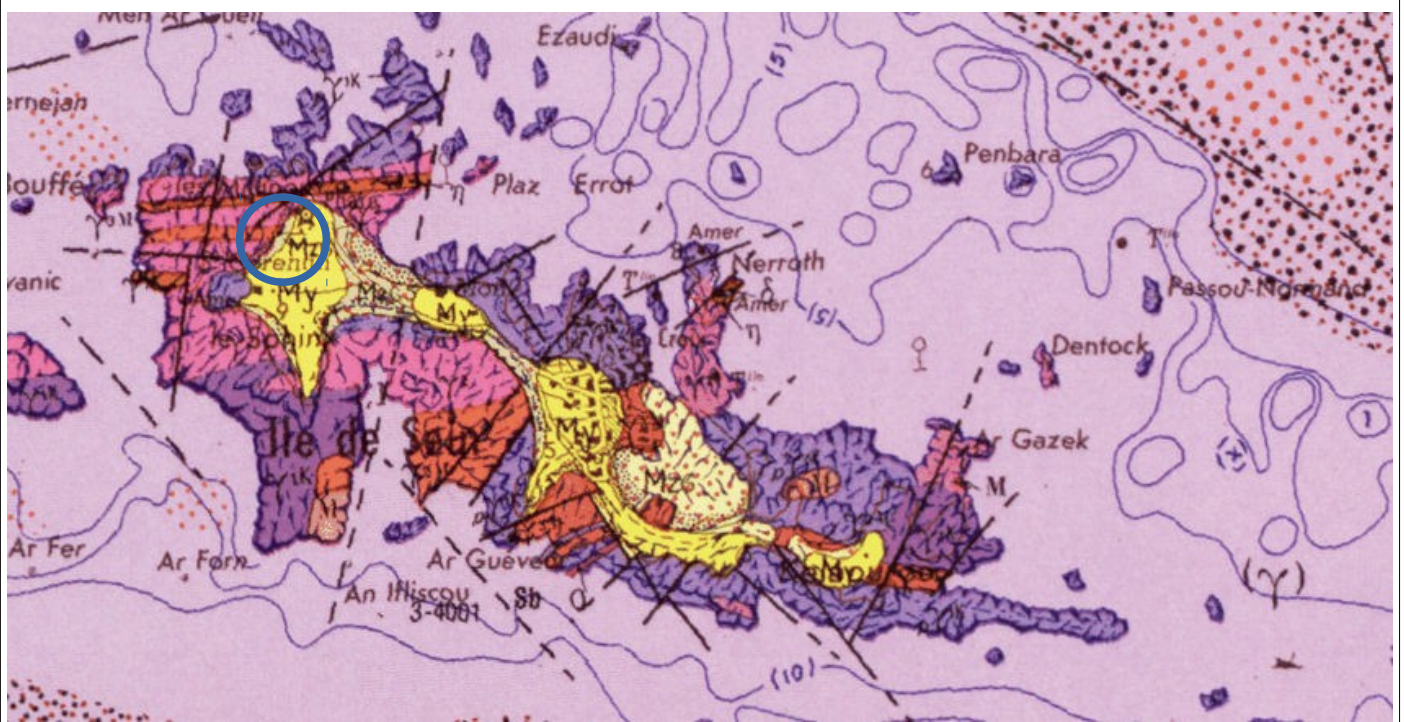
1 Localisation de la zone d'étude (GéoBretagne)



2 Vue du site (GéoBretagne)

Les mesures ont été réalisées du 13 au 15 mars 2016, avec une contrainte de temps liée à la marée.

- Géologie



3 extrait de la carte géologie du BRGM au 1/50000e -

Le substratum de la zone étudiée est constituée de granitoïdes du type granites calco-alcalin à leucogranite alcalin en majorité recouverts de dépôts marins et continentaux du quaternaire récent.

Les plages de l'île de Sein, comme pour le cas du site d'étude, sont en majorité constituées de plages éémienne (ou Normannienne - dernière période interglaciaire), constituées en anciennes levées de sable et galets. Elles relient entre elles des pointes rocheuses. Ces plages pleistocènes représentent d'ailleurs en partie l'épaisseur de l'île comme au Bourg et au niveau du site de Goulenez.

La méthode géophysique utilisée pour la reconnaissance du site, la tomographie de résistivité électrique, a été proposée pour tenir compte du contexte (cordon de galets et sable), des contraintes de temps (marée) et des accès au site.

2 - Principe de la Tomographie de Résistivité Electrique

(fiche en annexe)

Les méthodes de prospection électrique par courant continu permettent de déterminer la répartition des matériaux dans le sol par l'intermédiaire de leur résistivité. Dans ce but, un courant continu est injecté dans le sol par deux électrodes dites de courant, notées communément C1 et C2. Dans le même temps,

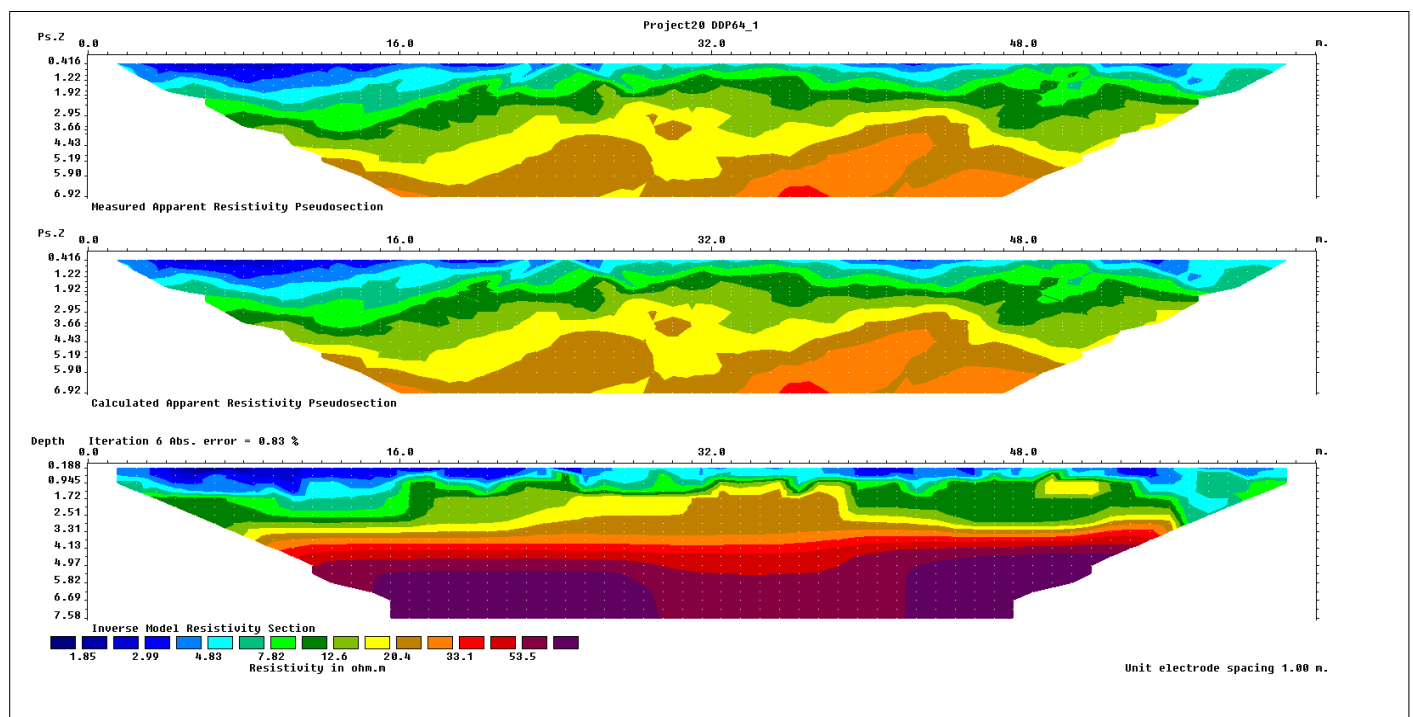
une mesure de différence de potentiel est réalisée entre deux électrodes dites de potentiel, notées P1 et P2. A partir de cette différence de potentiel, est dressée une carte des résistivités apparentes du sous-sol.

Cette coupe 2D de résistivités apparentes s'obtient en répétant la mesure telle que définie précédemment, le long du linéaire à ausculter. La figure n°4 suivante montre un exemple de profil de mesure.

Différentes séquences de mesures (ou protocoles) existent : Wenner (alpha, bêta, gamma), pôle-dipôle, dipôle-dipôle, Schlumberger, gradient... Chaque protocole a sa spécificité en terme de sensibilité à la forme et l'orientation des hétérogénéités du sol ausculté et/ou à la topographie du site. Le choix de la séquence à mettre en œuvre dépend donc des données initiales disponibles telles que la lithologie, l'historique de construction de l'ouvrage, la géométrie, l'extension de l'hétérogénéité suspectée...

Interprétation

L'analyse des données de résistivités électriques nécessite un processus d'inversion des données. Ce processus d'inversion, qui va prendre en compte le protocole utilisé, permet d'établir un modèle présentant une distribution possible des résistivités « réelles » en fonction de la profondeur. La distribution de la résistivité électrique est appelée tomographie de résistivité électrique.





4 Exemple de Profil de Tomographie Electrique

en haut : mesure de résistivités apparentes et en bas : profil de résistivités réelles après inversion

3 - Réalisation des mesures

Les mesures de résistivités ont été réalisées à l'aide :

- de 4 câbles (ou flûtes) reliés à 64 électrodes plantées dans le sol (piquets en acier inoxydable).
- les câbles sont connectés à un résistivimètre via un relais (« Terrameter LS » ABEM).
- l'injection de courant via les câbles et les piquets d'injection se fait en utilisant une batterie connectée au résistivimètre (illustration n°5).

	
<p>5 <i>Système d'acquisition</i></p>	<p>6 <i>Flûtes d'acquisition</i></p>

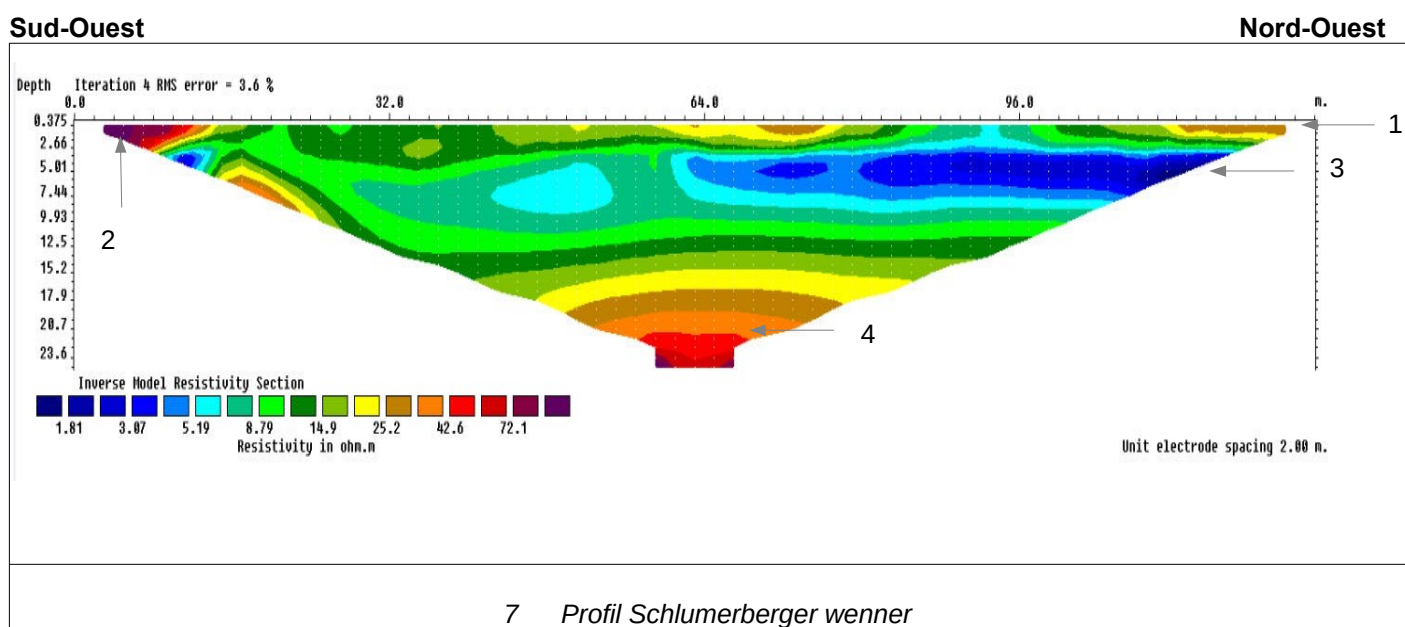
La mise en place des profils et la réalisation des mesures a dû tenir compte des contraintes de temps et de sites liés à la marée et à l'état de surface (niveau de galets).

Deux profils de mesures ont été implantés :

- à 1,50 m et 2,50 m de l'ouvrage,
- parallèlement au rivage suivant une direction sud-ouest vers le nord-ouest
- sur 94,5 ml et 126 ml, pour tenir compte de la profondeur et de la résolution visées (le profil le plus court permet une meilleure résolution (précision) mais les profondeurs d'investigations sont plus faibles que pour le profil le plus long (environ 25 m contre 15 m).

4 - résultats et interprétation

Dans le cadre de cette étude, nous avons testé les protocoles de mesures (ou séquences) Wenner et Schlumberger. Le protocole wenner donne davantage de précision sur les contacts horizontaux, mais il permet d'atteindre des profondeurs d'investigations moindre que le Schlumberger. Les profils de résistivités après inversion des profils de résistivités apparentes sont les suivants pour le Schlumberger (Le Wenner n'apporte pas davantage d'information) :



Plusieurs horizons apparaissent avec :

- sur environ 3 à 5 mètres d'épaisseur : un horizon de surface de résistivité comprise entre 10 et 30 ohm.m qui correspond à la formation de recouvrement de sable et galet (1), plus résistante en début de profil avec des résistivités de l'ordre de 100 ohm.m (2).
- sur un horizon, présentant des résistivités très faibles, inférieures à 5 ohm.m, pouvant être lié à une formation sableuse saturée et/ou argileuse,
- en base de profil, à environ 18 mètres de profondeur, les résistivités augmentent pouvant annoncer l'altération et le substratum rocheux ou des blocs rocheux (3).

5 - Conclusion

A la demande de la mairie de l'île de Sein, le Département Laboratoire de Saint-Brieuc du CeremaOuest a procédé à de la reconnaissance géophysique par tomographie de résistivité électrique pour essayer de localiser le substratum rocheux en pied d'un ouvrage de protection du littoral, au nord-ouest de l'île à proximité du phare de Goulenez.

Plusieurs protocoles de mesures électriques ont été testés, tenant compte, notamment, du contexte particulier lié à la présence d'un cordon dunaire en galets et des contraintes de temps liées à la marée.

Les profils de mesures réalisés à proximité de l'ouvrage (1,50 m et 2,50 m) ne montrent pas de niveaux de résistivités pouvant être liés au substratum rocheux sur une épaisseur d'environ 18 mètres. Au delà, les résistivités augmentent et peuvent annoncer la présence de niveaux rocheux (altération du substratum ou blocs).

R.Bénot

Chef du Groupe Risques
Naturels et Littoraux

Annexes

Tomographie de Résistivité Apparente

Description de la méthode

Historique

Méthode active et non destructive, elle est connue depuis le 19^{ème} siècle et s'est développée en 1912 notamment grâce à C. Schlumberger qui mena des expériences pour la prospection minière et pétrolière et F. Wenner qui développa les systèmes de quadripôle et la théorie de la réciprocité. La méthode a connu un regain dans les années 1990 avec le développement des techniques d'imageries électriques 2D et 3D.

Principe physique de la mesure

Les méthodes de prospection électrique par courant continu permettent de déterminer la répartition des matériaux dans le sol par l'intermédiaire de leur résistivité.

Dans ce but, selon une séquence de mesures (ou protocoles) spécifique (Wenner, dipôle-dipôle, Schlumberger,...) un courant continu est injecté dans le sol par deux électrodes dites de courant et on mesure une différence de potentiel entre deux électrodes dites de potentiel. Une coupe 2D de résistivités apparentes est, ainsi, obtenue après inversions des données.

Grandeurs mesurées et grandeurs déduites

A partir de cette différence de potentiel mesurée, on définit la résistivité apparente par :

$$\rho_a = k \Delta V / I ; \text{ où :}$$

k : un facteur géométrique dépendant du protocole,

I : l'intensité du courant injecté

ΔV : la DDP mesurée

Mise en œuvre

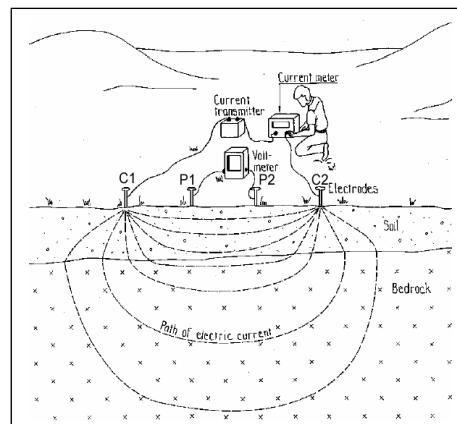
Les mesures de résistivités sont réalisées à l'aide de câbles (ou flûtes) reliés à des électrodes plantées dans le sol. Les câbles sont connectés à un résistivimètre via un relais.

Matériel

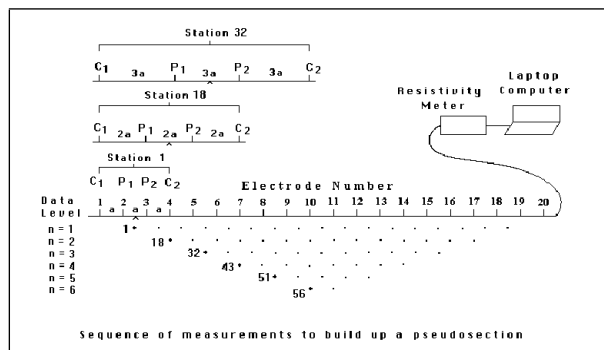
Résistivimètre, piquets inox (électrodes), câble(s) ou flûte(s) de résistivité, câbles de connexion entre flûtes et électrodes.

Logiciels de préparation des protocoles de mesures, d'acquisition de données et d'inversion des données de résistivités apparentes.

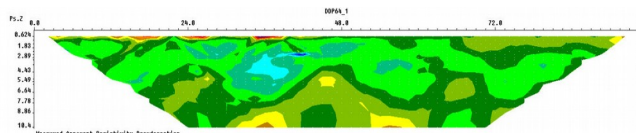
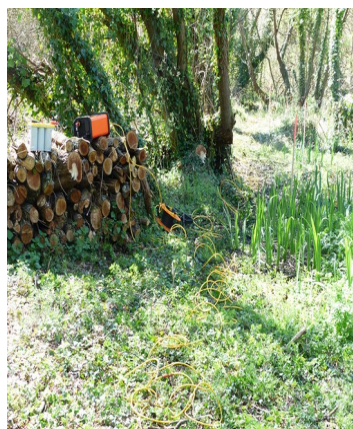
Format des résultats



Principe de la mesure (Loke 2002)



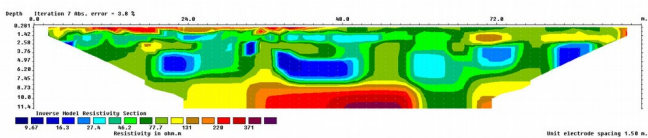
Constitution d'une pseudo-section (résistivités apparentes)



Exemple de mise en œuvre sur site

Fichiers ASCII (mesures brutes et inversées) .dat, .xls, .amp, .inv,..

Fichiers images 2D / 3D (selon logiciel employé)



Exemple de pseudo-section et coupe inversée

TOMOGRAPHIE DE RESISTIVITE ELECTRIQUE

Mode d'application de la technique

Domaine d'application

Détermination des propriétés électriques des sols, recherche de discontinuités (failles), de zone d'hétérogénéités, ...

Archéologie, prospection des sols, hydrologie...

Procédure d'étalonnage et de recalage

Vérification périodique de l'instrumentation, Vérification de la répétabilité des mesures (sur site ou sur étalon)

Travaux préliminaires et complémentaires à la mesure

Installation du dispositif au sol (piquets + connexion) ou enfoui (sondage, dispositif placé à demeure pour suivi dans le temps),

Vérification du contact électrique correct entre l'électrode et le sol,

Mesure de conductivité de l'eau du canal (pour prospection des canaux en eau),

Mesure de la température de l'air et du sol,

Relevé de la topographie (pour l'inversion),

Relevé des singularités du site (état du remblai, fuite visible, ligne élect. HT, ..) pour l'aide au diagnostic.

Limites

Pas de mesure par temps d'orage

Attention au danger pour les animaux domestiques provoqué par l'injection de courant (électrodes en surface)

Personnel, compétences requis

Opérateur qualifié -

Etat d'avancement de la technique

Normes ?

[]

Applications industrielles ? [X]

Modes opératoires publiés ? [X]

Utilisation sur sites tests ? [X]

Utilisation en laboratoire ? []

Références

M.H. Loke – 1996-2002, Res2Dinv : tutorial 2D et 3D electrical imaging survey