

Projets portuaires : apport de la géophysique marine très haute résolution *Harbour designs : contribution from VHR geophysical tools*

Agnès BALTZER¹, Roland BOUTIN², Alexis STEPANIAN¹

¹ Université de Caen, Faculté des Sciences, UMR 6143 CNRS – M2C,
Esplanade de la Paix, 14032 Caen, France

agnes.baltzer@unicaen.fr

² Direction des travaux maritimes de la région atlantique- Le Château – BP16 -
29240 BREST ARMEES

roland.boutin@wanadoo.fr

Résumé :

Dans le cadre de la modernisation du port militaire de Brest, deux reconnaissances géophysiques réalisées avec le Boomer Seistec (en 2004 et 2006) ont permis de reconnaître la couverture sédimentaire et la profondeur du socle. De précédentes investigations avaient établi l'existence de décrochements géologiques grâce à des sondages. La vision «en continu» fournie par les profils sismiques THR permet d'appréhender de façon différente ces décrochements, et de les associer à des structures ondulées remarquables, relatives à une phase de remplissage de la Baie. Cette vision globale des fonds permet de comprendre l'évolution géomorphologique de la rade dans son ensemble et de dépasser la vision « ponctuelle». Ainsi, l'influence de l'Aulne, et non de la Penfeld comme le laissait supposer la disposition actuelle, s'avère prépondérante.

Abstract :

In the frame of modern harbour designs of the military harbour of Brest, 2 geophysical surveys realised with the Seistec Boomer (2004 and 2006), allowed us to recognize the sedimentary cover and the depth of the geological substratum. Previous studies have established the existence of faults based on coring data. The « linear » vision provided by seismic profiles gives another point of view of these structures. They could be assimilated to undulated shaped structures related to the sediment infilling of the bay. The global vision provided by VHR geophysical data is a key to understand the morphological evolution of the bottom. Although the actual situation of the Penfeld, it is the Aulne river which had the main impact on the sedimentation evolution of the Bay.

Mots-clés :

Projets portuaires – Sismique THR – sédiments — failles – vision « continue versus ponctuelle »

Harbour designs – VHR seismic – sediment – faults – « continuous versus ponctual » vision.

1 Introduction

Les deux premières reconnaissances géophysiques Très Haute Résolution ont été réalisées en 2004 et 2006 dans la rade abri du port militaire de Brest, à l'aide du Boomer Seistec. L'objectif était d'acquérir le maximum d'information sur l'état des fonds marins dans cette Rade Abri dans l'optique de travaux de réaménagements. Il s'agissait également de compléter des études menées à partir de forages par Mr Bachy en 1966 et de sondages et d'essais in situ au pénétromètre dynamique réalisés par Mr Ménard en 1967. Deux questions principales guidaient cette recherche : 1) quelle est la profondeur du socle rocheux dans cette rade abri, et que représentent les décrochements décrits par Ménard en 1967 à partir de forages - est-ce une série de failles ou d'autres types de structures morphologiques ?

L'acquisition de profils sismiques a permis d'acquérir une vision continue dans le plan vertical, caractérisée par une très haute résolution. Cette approche, pour l'instant rare dans les domaines portuaires, facilite pourtant la compréhension des processus de mise en place des dépôts sédimentaires et donc de l'évolution de la morphologie des fonds marins.

2 La Sismique très Haute Résolution

Le Boomer Seistec a été acquis par le laboratoire de Morphologie Continentale et Côtière de l'Université de Caen, dans le cadre de la mise en place du Pôle Géophysique Très Haute Résolution de Normandie (<http://zbar.free.fr>).

Le principe de la prospection des domaines sous-marins par géophysique repose sur l'étude des échos d'une onde acoustique émise artificiellement et réfléchi par des interfaces: le fond de la mer et les limites entre les différentes couches qui constituent les sédiments déposés sous l'eau. Lorsque les ondes émises sont de faible puissance et de très haute fréquence (quelques 10 à quelques 100 kHz), elles ne peuvent pas pénétrer dans le sédiment et sont réfléchies par le fond de la mer seulement. C'est sur ce principe que fonctionne le **sonar** qui permet ainsi de

restituer une image comparable à photographie du fond.

Plus les ondes émises sont de fortes puissance et de basses fréquences (quelques 10 Hz à quelques kHz), plus elles pénètrent profondément dans les sédiments et restituent ainsi la géométrie interne des différentes couches qui les composent. C'est le principe de la **sismique**. Au contraire de la sismique dite "conventionnelle" (recherche pétrolière) caractérisée par une forte pénétration (quelques km) mais une basse résolution (quelques dizaines de mètres), la sismique utilisée pour étudier les domaines littoraux, où l'épaisseur des sédiments reste inférieure en général à la centaine de mètres, est dite "**Très Haute Résolution**". Elle répond à une double nécessité: l'étude très fine des sédiments (résolution de l'ordre de 25 cm) ainsi qu'une mise en oeuvre de l'outil dans des environnements peu profonds c'est à dire à partir de petites embarcations.

Le Seistec-IKB, fabriqué au Canada (Simpkin, 1993) est caractérisé par une source d'émission électromécanique : une plaque (un boomer) se déforme sous l'effet d'une décharge électrique de haute tension de 4000 V. Les échos de l'onde émise sont réceptionnés par des hydrophones placés près de la plaque. Sa fréquence d'émission recouvre une bande de 1 à 10 kHz, sa profondeur de pénétration atteint 20 m dans le sable et environ 80 m dans les argiles. Nous avons ainsi réalisé 48 profils sismiques dans la rade abri du port militaire, qui permettent d'obtenir une vision générale du socle et de sa couverture sédimentaire.

3 Interprétation

3.1 Etat des connaissances.

Nous avons à notre disposition 3 rapports basés sur des forages réalisés entre 1966 et 1967 afin d'étudier les caractéristiques géotechniques du sol de la rade : deux rapports de Mr BACHY réalisés en 1966 et le rapport de Mr MENARD (1967).

Le premier rapport de Mr BACHY décrit 10 forages réalisés dans le sud-ouest de la rade, contre le digue sud (figure 1). Ces forages présentent tous une succession relativement similaire de deux couches de sable fin, gris plus ou moins coquiller, sur 3 à 5 m d'épaisseur qui reposent sur le substratum de schistes situé entre 4 et 7,5 m de profondeur. Une couche de vase noirâtre, de 30 cm à 2m recouvre toute cette zone. Le second rapport décrit 3 forages réalisés dans le nord de la rade au niveau de l'Epi de la grande rivière (appelé aussi Epi de la Ninon – figure 1). Le toit du schiste passe de 4,25 m à 6,30 à 8m d'est en ouest. Une couche épaisse de sable et galets d'une épaisseur variant de 4 à 6m recouvre ce substratum, elle même nappée par du sable vaseux en surface.

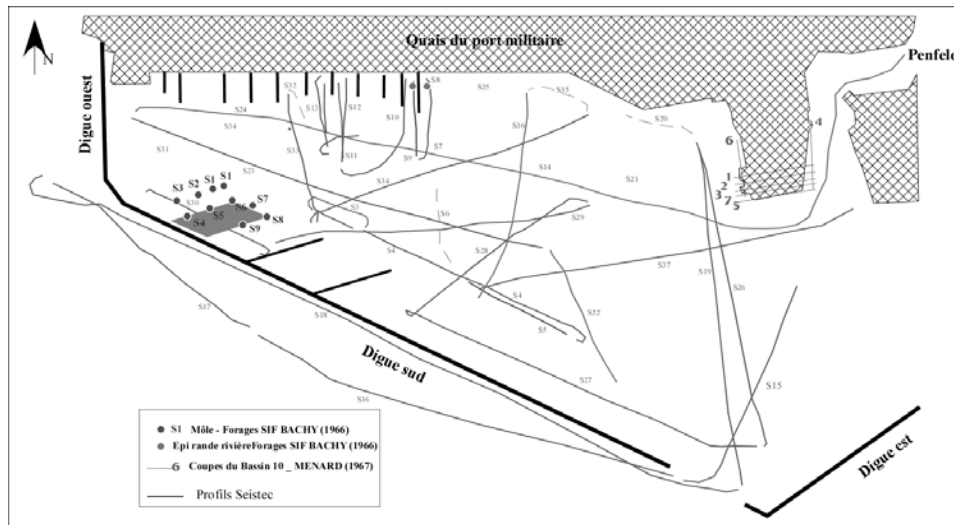


Figure 1. Localisation des sondages et des profils sismiques

Le rapport de Mr Ménard (1967) montre 7 coupes géologiques réalisées à partir de 58 forages, tout autour de la pointe (figure 1). On retrouve dans chaque cas le toit du schiste sur lequel repose une couche d'alluvions anciennes, variant de 1 à 5 m. Ces alluvions anciennes sont composées de blocs de schistes, rognons de quartz et granite englobés dans une gangue de sable argileux. Une couche d'alluvions modernes, sable vasard avec passées de graviers, recouvre la série, sur une épaisseur de 4 à 5 m généralement, atteignant exceptionnellement 10m et plus, sur les coupes 4,5 et 7.

3.2 Données Sismiques et interprétation.

La figure 1 montre la répartition des 37 profils sismiques (de Bouba S1 à Bouba S37) réalisés dans la rade abri du port militaire de Brest. Deux grandes séries de profils, longitudinaux et transverses découpent la rade, permettant d'établir le contexte géologique général.

Les profondeurs en sismique sont exprimées en **ms temps double**, c'est à dire le temps que met l'onde acoustique pour faire le trajet aller/retour entre l'hydrophone et l'interface sédimentaire. Pour en déduire une profondeur en mètres, il suffit de diviser par 2 cette échelle (temps d'un seul trajet) puis de multiplier par la vitesse du milieu traversé : 1500 m/s dans l'eau jusqu'à 2200m/s temps de vitesse donné pour les sédiments marins superficiels en fonction de la nature des sédiments (voir tableau 1).

Dans la rade abri, la plupart des profils sont caractérisés par une pénétration maximum de **6 ms temps double**, soit une pénétration minimum de 5 m. Nous attirons ici l'attention sur le fait que si l'on considère une vitesse de 1800m/s ou 2200m/s nous atteignons des profondeurs de pénétration de 5,40m ou 8 m. Ces vitesses sont tout à fait plausibles si l'on fait référence au tableau suivant.

Tableau 1. Corrélation vitesses sismiques et formations sédimentaires d'après des données Fugro à partir de sismiques réflexion et de carottages

<i>Vitesse sismique (m/s)</i>	<i>Formation géologique</i>
<i>1480 - 1600 m/s</i>	<i>Sables silteux ou argileux "vasards", sables pouvant être graveleux – état lâche</i>
<i>1600 – 1800 m/s</i>	<i>Sables moyennement denses à assez denses, pouvant contenir graviers et galets, graviers avec galets possibles à l'état plus ou moins lâche.</i>
<i>1800 - 2000 m/s</i>	<i>Sables et sables graveleux denses, graviers avec éventuellement galets</i>
<i>2000-2200 m/s</i>	<i>Graviers avec galets plus denses</i>

Les profils montrent une succession de 5 faciès acoustiques (figures 2) que nous décrirons en commençant par le faciès le plus profond (donc le plus ancien), pour remonter vers la surface (le plus jeune).

Faciès vert foncé : ce premier faciès acoustique « sourd » (pas de réflecteur visible), correspond vraisemblablement au toit du substratum rocheux des schistes à pendage vertical. Il constitue la base de tous les profils sismiques. Ce faciès de schistes est décrit comme plus ou moins altéré dans sa partie supérieure, laissant place aux schistes sains dans la partie sud (digue sud).

Faciès jaune: correspond à un faciès plus ou moins transparent avec des réflecteurs épais subverticaux par endroits. Cette signature acoustique presque transparente (profils S4 et S27) traduit l'existence de sable, ce qui correspond bien au dépôt de sables gris fins et parfois vaseux et coquilliers décrits dans les forages de BACHY (1966). Ce faciès est localisé uniquement dans la partie sud de la rade. Il s'agit vraisemblablement du banc de St Pierre, banc sableux sur lequel repose la digue sud.

Faciès beige moiré: ce faciès lité plan, d'une épaisseur de 3 à 5 m, révèle une série de réflecteurs continus horizontaux déposés sur le substratum schisteux. Cela

correspond à la première phase de remplissage de cette baie par des sédiments, probablement les alluvions anciennes décrites par Ménard (1967) : blocs de schistes et rognons de quartz (érosion continentale) entouré d'une gangue de sable argileux. Ce remplissage se retrouve dans toute la rade, sauf au sud, près de la digue sud où repose le banc de sable de St Pierre. Ce remplissage est ainsi à priori contemporain du dépôt de banc de sable. Il est également possible de voir des « pockmarks » ou des remontées de fluides sur le profil S19, en bordure de la paléo-Aulne.

Faciès orangé : c'est un faciès lité montrant plusieurs réflecteurs continus sur une épaisseur d'environ 5 à 6 m. Ce faciès lité correspond à une seconde phase de

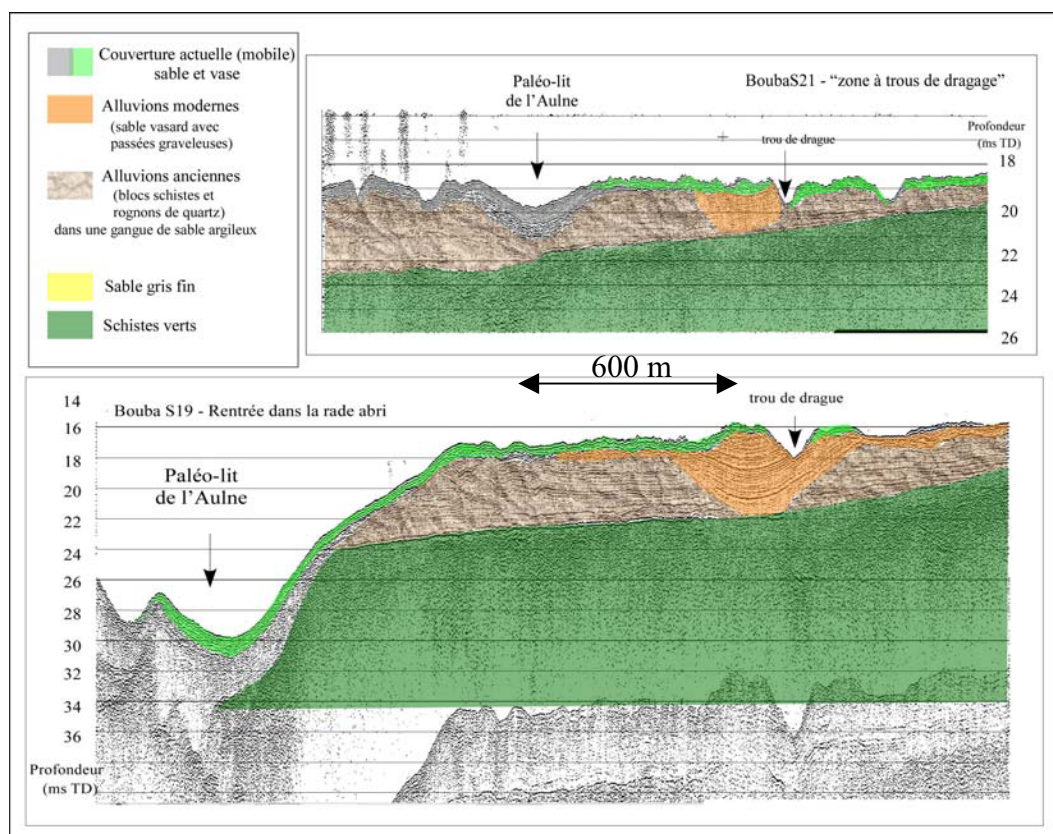


Figure 2. Profils sismiques Seistec révélant les différents faciès acoustiques

remplissage, qui nappe une surface érosive ayant creusé de profondes cuvettes dans la première phase de remplissage. Ces sédiments correspondent aux alluvions modernes décrits par Ménard (1967) comme un sable vasard avec des passées graveleuses. Ils nappent la surface érosive (du à un événement de type tempête, catastrophique ?) et présentent ainsi des ondulations (profil S37 et S19 –

figures 2)

Faciès gris/vert clair : c'est un faciès plus ou moins lité montrant plusieurs réflecteurs continus recouvrant sur une faible épaisseur (de quelques dizaines de cm) la série. Cette couverture actuelle, mobile, a été décomposé en 2 couleurs : la grise correspondant à la vase noirâtre décrite dans la partie sud de la rade (proche de la digue). Le faciès vert clair correspond plutôt à la couverture superficielle que l'on rencontre dans la moitié nord de la rade, composée de sable plus ou moins vaseux. Cette différence de sédiment superficiels peut s'expliquer probablement par l'hydrodynamisme de la rade. La partie sud, plus confinée, moins sillonnée par les navires favorise le dépôt de vase noirâtre, tandis que dans la moitié nord, les fines sont plus facilement remobilisées par les courants et le sable est ainsi « lavé » de ses fines.

Enfin, il faut noter la présence du paléo-lit de l'Aulne, parfaitement visible sur la figure 2, qui longeait la falaise dans les temps géologiques. Cette paléo-vallée divise la rade en 2, avec le Banc St pierre dans sa partie sud et les banquettes d'alluvions dans la moitié nord.

4 Discussion

Grâce à la vision générale donnée par cette reconnaissance géophysique, il est possible de mieux suivre l'évolution morphodynamique des fonds marin de la rade abri. Elle s'avère divisée en 2, dans le sens de la longueur, par le passage d'une paléo vallée, qui n'est pas celle de la Penfeld comme on pourrait le supposer, mais celle de l'Aulne, venant du fond de la Baie. Ainsi c'est la paléo vallée de l'Aulne qui rentre dans la rade par la passe sud et se prolonge jusque dans le fond de la Rade Abri. Au sud de ce paléo-lit de l'Aulne, le banc de St Pierre est toujours bien visible dans la sismique et sert de support à la digue Sud. La partie située au nord de cette paléo-vallée, est constituée par le remplissage sédimentaire et alluvionnaire proprement dit.

Le comblement de la baie s'est vraisemblablement déroulé en 3 phases :

une première phase de remplissage en période calme correspondant aux alluvions anciennes de Mr Ménard est interrompue par une crise, un événement érosif de type tempête ou variations brusque du niveau marin (?) qui aurait creusé de profondes cicatrices et cuvettes dans cette première phase de comblement.

Une seconde phase de remplissage nappe alors toutes ces morphologies héritées de l'événement érosif, et montre ainsi des structures ondulées remarquables (profils S19 et S37 sur les figures 2 et 3). Ce sont probablement ces structures inhabituelles qui sont à l'origine de l'interprétation « avec failles » faite par Mr Ménard en 1967. En effet, la vision « ponctuelle » inhérente aux données de type

sondages ou carottages révèle un décalage de 2 à 3 mètres entre les forages FS2 et CB 14 par exemple. Les failles semblent donc la structure géologique la plus appropriée pour expliquer ce décalage. Or les profils sismiques permettent d'avoir une vision en continu du sous sol. La figure 3 montre que la seconde phase de remplissage présente des ondulations spectaculaires qui nappent la première phase de remplissage. Ces structures ne peuvent être assimilées à des dunes étant donné leur géométrie de type synclinal, soulignée par l'existence de plusieurs réflecteurs parallèles. L'existence même de ces réflecteurs révèle que la nature des sédiments n'est pas uniquement sableuse, car la réponse acoustique du sable donnerait un faciès transparent à sourd. Par contre ces ondulations provoquent des décalages de 2 à 4 m,

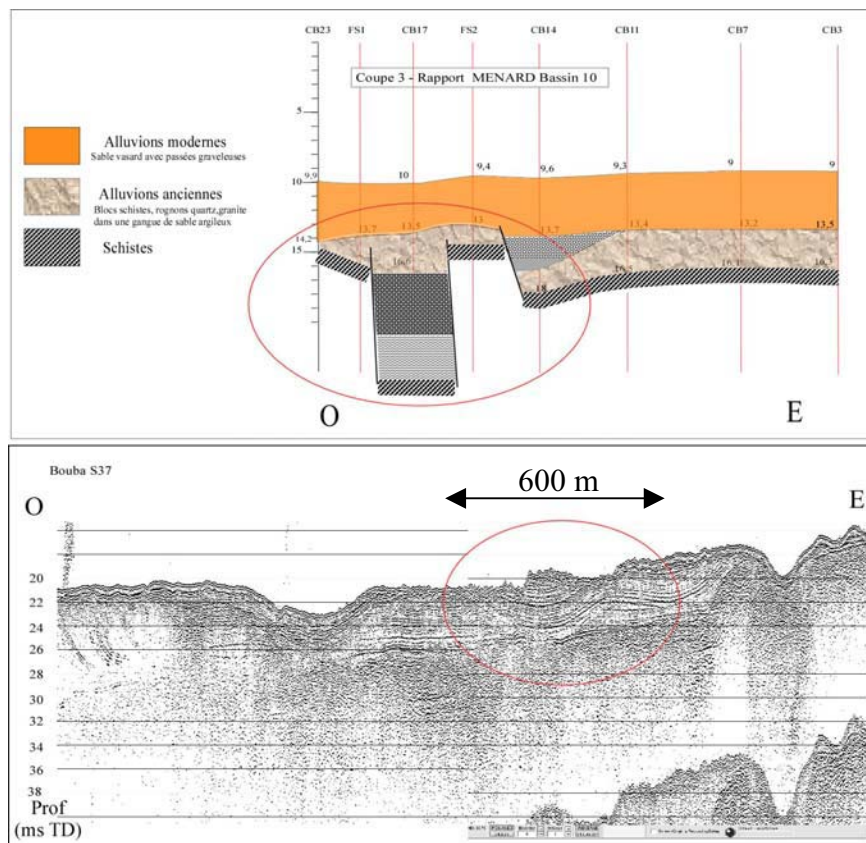


Figure 3. Comparaison du profil Seistec S37 avec la coupe géologique 3

qui sont exactement situées dans la même zone que les failles cartées par Mr Ménard (1967). Ainsi, la vision « ponctuelle » donnée par les sondages, appelle l'intervention de failles pour expliquer les décalages observés. Dans son rapport, Mr Ménard souligne d'ailleurs que « peut-être y a t-il d'autres explications, mais

celle ci nous semble vraisemblable, compte tenu de l'existence de failles bretonnes importantes convergentes dans la rade de Brest ».

Enfin la troisième phase de remplissage, phase actuelle, est composée par des sables et vases en couverture mobile d'une épaisseur de 30 à 150 cm. Cette couverture est entaillée par plusieurs essais de dragages. Notons que l'épaisseur de cette couverture sédimentaire donnée par les coupes géologiques est elle de 4 à 5 m , car réalisées à terre sr le terre plein construit après la seconde guerre.

Il faut noter que l'action érosive de la Penfeld est, et a été particulièrement faible, même dans le passé, contrairement à la paléo-vallée de l'Aulne, qui laisse une empreinte remarquable dans la rade Abri.

5 Conclusions

La réalisation de cette reconnaissance géophysique à l'aide du Boomer Seistec nous a permis de mieux comprendre le fonctionnement sédimentaire de la rade Abri du port militaire de Brest.

Elle nous a permis d'appréhender de façon différente des structures géologiques assimilées à des failles, et de les associer à des structures ondulées remarquables, relatives à une phase de remplissage de la Baie. Ainsi, la combinaison de ces deux approches associant la vision « continue » à la vision « sondages » permet de comprendre l'évolution géomorphologique de la rade dans son ensemble et de dépasser la vision « ponctuelle ». Par exemple, l'influence de l'Aulne, et non de la Penfeld comme le laissait supposer la disposition actuelle, s'avère prépondérante sur la dynamique sédimentaire dans la rade.

6 Références bibliographiques

1 BACHY. (1966). *Rapport pour la Marine Nationale* pour le Port de Brest

2 BALTZER A., STEPANIAN A., OWONO J., TESSIER B. (2003). *Identification des sables vacuolaires à terre et en mer*. Revue Française de Génie Civil- RFGC- n° 9, vol.,7pp. 1139-1149.

3 FUGRO. (1999). Rapport N° FR 98 Gy Co 1002 Revue B pour le Port Autonome du Havre

4 MENARD L. (1967). *Rapport d'étude des sols et fondations pour le Port Militaire de Brest* 21 p.

5 MOSHER D.C. & SIMPKIN P., (1999). *Status and Trends o Marine high resolution Seismic Reflection Profiling Data acquisition*. Géosciences Canada, 22p.

6 SIMPKIN P., DAVIS M. (1993). *Etude For seismic profiling in very shallow water, a novel receiver*, vol., 34, 5 p.