



Sonar Latéral à But Pédagogique

J. Marchal^a, M. Legris^b, I. Mopin^b, A.-L. Verneil^c, R. Leiba^c, M. Garot^c, M. Dana^c et L. Robert^c

^aUPMC Univ Paris 06, UMR7190, Institut Jean Le Rond d'Alembert, 2 place de la Gare de Ceinture, 78114 Saint-Cyr-L'École, France

^bENSTA Bretagne, UMR 6285, Lab-STICC, STIC-OSM, 2 rue François Verny, 29806 Brest Cedex 09, France

^cUPMC Univ Paris 06, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France
jacques.marchal@upmc.fr

Le sonar latéral est un système imageur sous-marin : il est tracté proche du fond et réalise des images rasantes de part et d'autre du système. Le "sonar latéral à but pédagogique" est un projet au cours duquel les étudiants construiront eux-mêmes un sonar complet "en kit", incluant la réalisation des antennes et l'assemblage des différents composants. Ce module couvrira de nombreux domaines : transduction, acquisition, conditionnement et traitement du signal, traitement de données, formation d'images, et bien sûr acoustique sous marine... A ce jour, un prototype a été construit et testé en mer. Le système et les premières images obtenues seront présentés par des étudiants ayant participé à la réalisation du projet. Ce travail est le fruit d'une collaboration entre l'Université Pierre et Marie Curie et l'Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées Bretagne.

1 Introduction

Un sonar latéral [1] est un système permettant d'imager le fond marin. Ce type de système est plus complexe qu'un sondeur (une seule sonde permettant de connaître la profondeur en un point) mais plus simple qu'un sondeur multifaisceaux (plusieurs sondes permettant d'établir une carte des profondeurs). Le projet "Sonar Latéral à But Pédagogique" consiste à faire réaliser intégralement par des étudiants un système fonctionnel : ayant eux-mêmes construit le sonar, les étudiants en découvriront ainsi tous les aspects techniques mais aussi théoriques. Les domaines couverts concernent aussi bien l'acoustique sous-marine en général, le conditionnement et le traitement de signal, le traitement d'image....

Le sonar latéral à but pédagogique (SLBP) est tout d'abord présenté. Des essais en mer ayant été réalisés à Brest, les images obtenues sont ensuite exposées.

2 Sonar Latéral à But Pédagogique

Le SLBP est composé de plusieurs transducteurs élémentaires identiques. Leur assemblage avec une certaine géométrie lui confère alors sa résolution dont les caractéristiques sont exposées dans cette partie.

2.1 Transducteur élémentaire

Pour simplifier la mise en œuvre, l'antenne de réception du sonar est composée de transducteurs élémentaires identiques. L'élément piézo-électrique composant ces transducteurs est un bâtonnet PZT d'environ 12mm de haut et 5 mm de diamètre. Une adaptation de type quart d'onde est réalisée en plexiglas (voir figure 1).

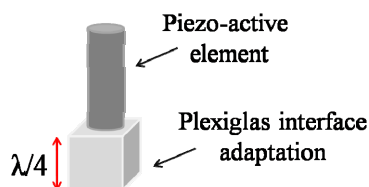


Figure 1: Élément piézo-électrique.

L'ensemble de 16 bâtonnets compose ainsi un transducteur élémentaire dont la fréquence de résonance est de 100 kHz et dont la longueur est de 12cm (environ 8λ , λ étant la longueur d'onde). Pour la réalisation, l'étudiant prend une barrette de 16 céramiques, la dispose dans un moule qu'il a usiné puis coule du polyuréthane (figure 2). Vu les dimensions, l'ouverture à -3dB en azimut est d'environ 8° et l'antenne est très ouverte en site (quasi-hémisphérique). La bande passante est de plus de 25 kHz autour de 100 kHz (figure 3).

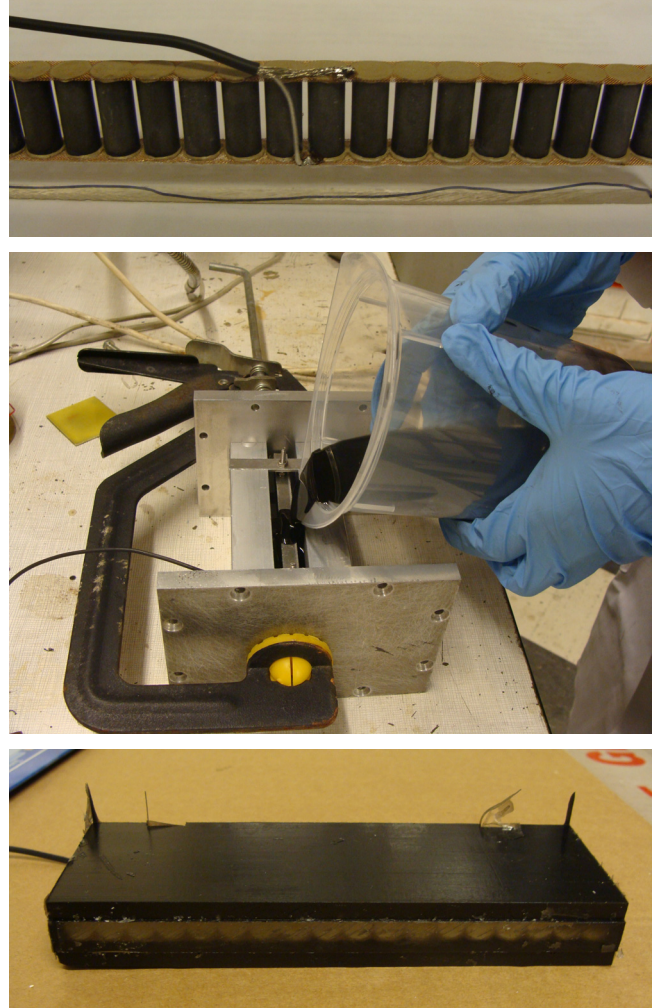


Figure 2: (En haut) barrette de piézo-électrique ; (au milieu) moulage d'un élément ; (en bas) antenne élémentaire.

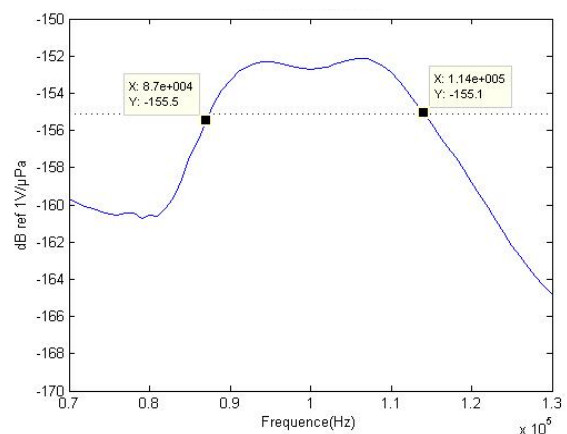


Figure 3: Sensibilité en réception d'un élément.

2.2 Antenne émission/réception

L'antenne de réception est un réseau linéaire de 7 transducteurs élémentaires (voir figure 4). La longueur de l'antenne est d'environ 84 cm (soit 56λ) soit une résolution angulaire de 0.9° . Les diagrammes mesurés dans le bassin de d'Alembert par les étudiants confirment cette ouverture théorique. A une distance de 30m, la résolution selon le sens d'avancement du sonar (direction de l'antenne) sera donc de 50 cm (à comparer à la résolution radiale liée à la bande qui est de $c_0/2B = 3\text{ cm}$ où $c_0 = 1500\text{ m/s}$ est la célérité du milieu). Un huitième élément de réception a été ajouté pour pouvoir réaliser des mesures interférométriques.

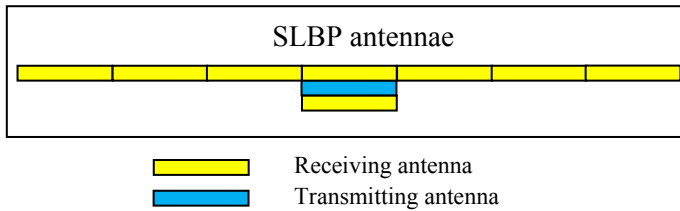


Figure 4: Schéma des antennes du SLBP.
En jaune, les antennes utilisées en réception.
En bleu, l'antenne d'émission.

L'antenne d'émission diffère des éléments de réception. Il est nécessaire de réduire le secteur d'émission en site afin de pas insonifier ni la surface de l'eau, ni en arrière par rapport à l'axe vertical du bateau. On s'impose donc un angle d'ouverture inférieur à 60° (à -13 dB) afin de restreindre le secteur insonifié aux angles d'incidence compris entre 30° et 90° (l'antenne sera inclinée 30° en-dessous de l'horizontal).

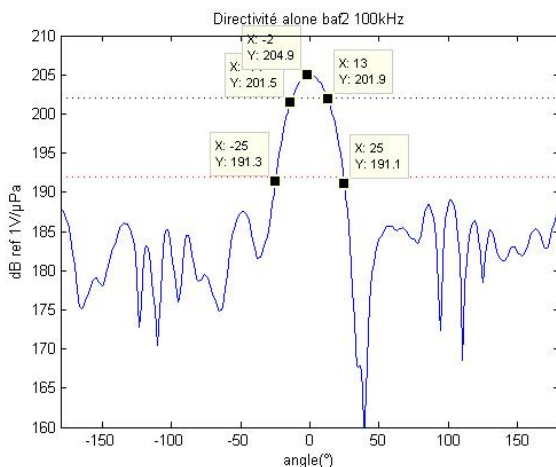


Figure 5: (En haut) face avant de l'antenne d'émission ;
(en bas) diagramme en site.

L'antenne d'émission est constituée de 3 éléments identiques à ceux de réception, assemblés l'un au-dessus de l'autre. Pour réduire les lobes secondaires, on réalise une apodisation rudimentaire en assemblant électriquement en série les deux transducteurs sur les bords, puis le tout en parallèle avec l'élément central : en appliquant une tension V à l'antenne, l'élément central sera soumis à une tension V à ses bornes et les deux éléments de chaque bord auront une tension de $V/2$. Les diagrammes mesurés par les étudiants confirment l'intérêt d'une telle apodisation (voir figure 5).

2.3 Système d'acquisition

Le système d'acquisition se veut simple : il est basé sur l'utilisation de deux cartes d'acquisition de National Instrument (PXIe-1073 et PXIe-6366) montés dans un chassis PXIe. L'une des cartes (dite rapide) possède 8 voies synchrones (jusqu'à 2MHz par voie) pour acquérir les signaux des récepteurs et générer le signal d'émission. La seconde carte (dite lente) permettra d'acquérir et de générer les signaux annexes.

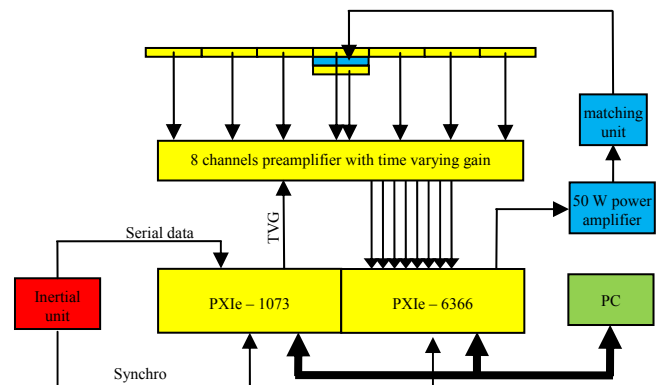


Figure 6: Schéma du système d'acquisition du SLBP.

Une centrale inertielle Ixsea, associée à un GPS RTK, permet d'obtenir la position (longitude, latitude et altitude) et le mouvement du bateau (cap, roulis et tangage). Pour simplifier l'acquisition, cette centrale fournit à une cadence de 20Hz un signal de synchronisation et un signal série de type RS232 contenant les informations de la centrale. La ligne série est directement acquise et devra être décodée en fonction des différents formats utilisés (le bus de données est un signal logique - état haut ou état bas). L'acquisition sera déclenchée sur l'un des fronts montants du signal de synchronisation et provoque :

- La génération du signal d'émission qui est envoyé sur un amplificateur de puissance de 50 W suivi d'un transformateur d'adaptation lui-même branché sur l'antenne d'émission ;
- L'acquisition du signal de la ligne série de la centrale inertielle ;
- La génération du signal contrôlant l'amplificateur de réception (Time Varying Gain).
- L'acquisition des signaux des 8 récepteurs qui sont préamplifiés.

La gestion des cartes d'acquisition se fait par un programme écrit en matlab et relativement simple. Cependant, pour le moment, seule l'acquisition et la sauvegarde sont réalisées ; il n'y a pas de contrôle ou d'affichage en temps réel. L'un des moyens de vérifier que les signaux ne saturent pas est d'utiliser un

oscilloscope pour visualiser le signal acquis sur l'un des récepteurs. La cadence de tirs est d'environ 0,4 s.

3 Exploitation

3.1 Essais en mer

Les essais en mer ont eu lieu sur 3 demi-journées en mars 2014 dans la baie de Brest. Le système a été monté sur une perche le long de la coque du bateau "Panopée" de l'ENSTA Bretagne (figure 7). Le sonar, situé 2 m sous la surface, image le côté tribord. A noter que le système devrait être remorqué derrière le bateau mais ceci n'est pas techniquement réalisable pour un système pédagogique. La vitesse du bateau est en moyenne de 2 nœuds. Plusieurs zones ont été définies mais seules deux seront présentées (épaves à l'entrée de l'Elorn et pierres le long de la digue sud de l'arsenal).



Figure 7: (en haut) photo des antennes (en bas) photo de la vedette "Panopée" et du sonar monté sur le côté (perche).

3.2 Images

Deux traitements relativement simples ont déjà été réalisés. Les signaux sont tout d'abord traités avec un filtrage adaptatif. Puis on réalise deux images :

- L'une avec uniquement le transducteur central en réception. Cela équivaut à un sonar latéral dont l'antenne d'émission et de réception sont seulement de 8λ . A noter qu'en mode échographique, l'ouverture "émission + réception" est alors de l'ordre 4° ;
- L'ensemble des 7 éléments de réception en effectuant une formation de voie (on focalise sur une droite perpendiculaire au centre de l'antenne). La réalisation est de 0.9° .

Ces deux images sont présentées sur les figures 8 et 9 pour les deux zones sélectionnées. Les images représentent l'intensité sur une échelle linéaire. On observe sur la seconde image une meilleure résolution selon l'avancée du bateau. Le contraste est légèrement amélioré. On observe aussi un bruit périodique (rayure dans les ombres) qui doit être un bruit extérieur qui pourrait être l'onduleur du bateau par exemple. De plus amples traitements doivent être effectués sur les images. Une analyse plus fine du système et notamment du signal reçu doit être aussi réalisée pour connaître l'origine des doubles échos...

4 Conclusion / perspectives

Les premières images obtenues avec le premier prototype du sonar latéral à but pédagogique sont prometteuses pour un système élaboré par des étudiants. Bien sûr de nombreuses améliorations peuvent être apportées comme par exemple :

- Amélioration de l'amplificateur de réception (diminution du bruit généré par le bateau) ;
- Mis en place d'un programme d'acquisition permettant le contrôle et la visualisation en temps réel (ce programme sera fait en Python) ;
- Amélioration des images obtenues par formation de voie en intégrant le mouvement de la plateforme ;
- Imagerie synthétique (Synthetic Aperture Sonar [1]) : ce genre de traitement relativement complexe permettra d'obtenir une résolution fixe de $4\lambda = 6\text{ cm}$ selon l'avancement du bateau et ce quelque soit la portée. Ce type d'imagerie nécessite d'avoir une position très précise de la plateforme.

L'idée est aussi de créer une Unité d'Enseignement (UE) conjointe à l'UPMC et à l'ENSTA Bretagne qui englobera la conception et l'utilisation du SLBP.

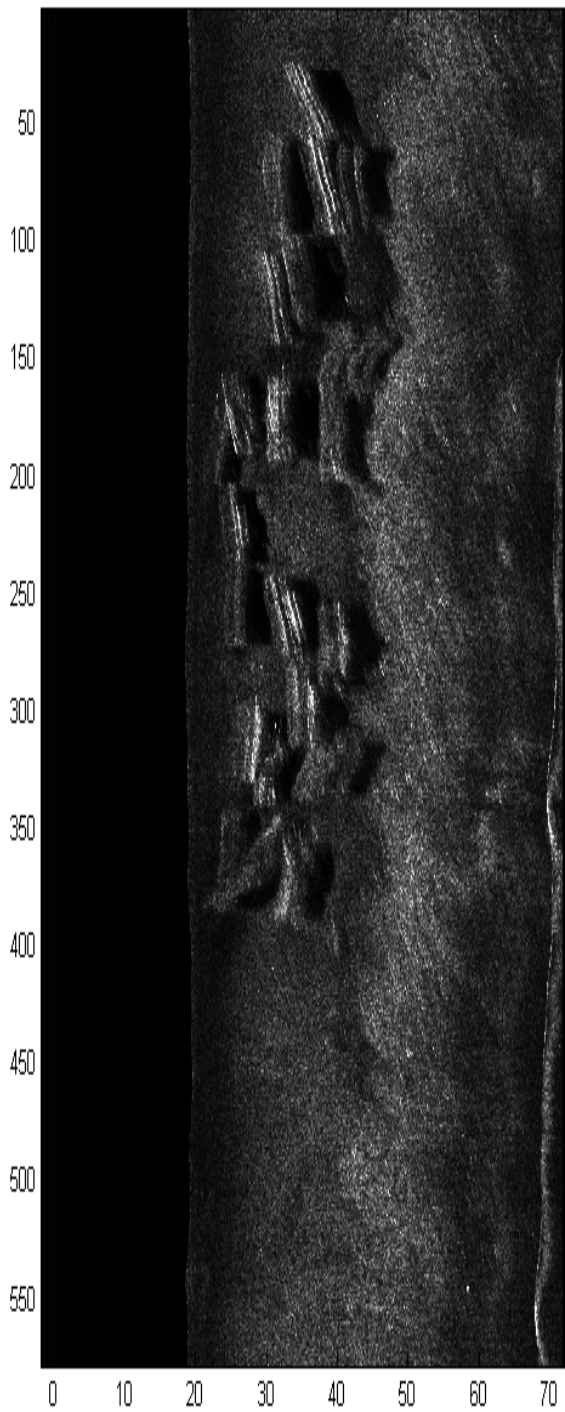
Remerciements

Les enseignants-chercheurs et les étudiants remercient :

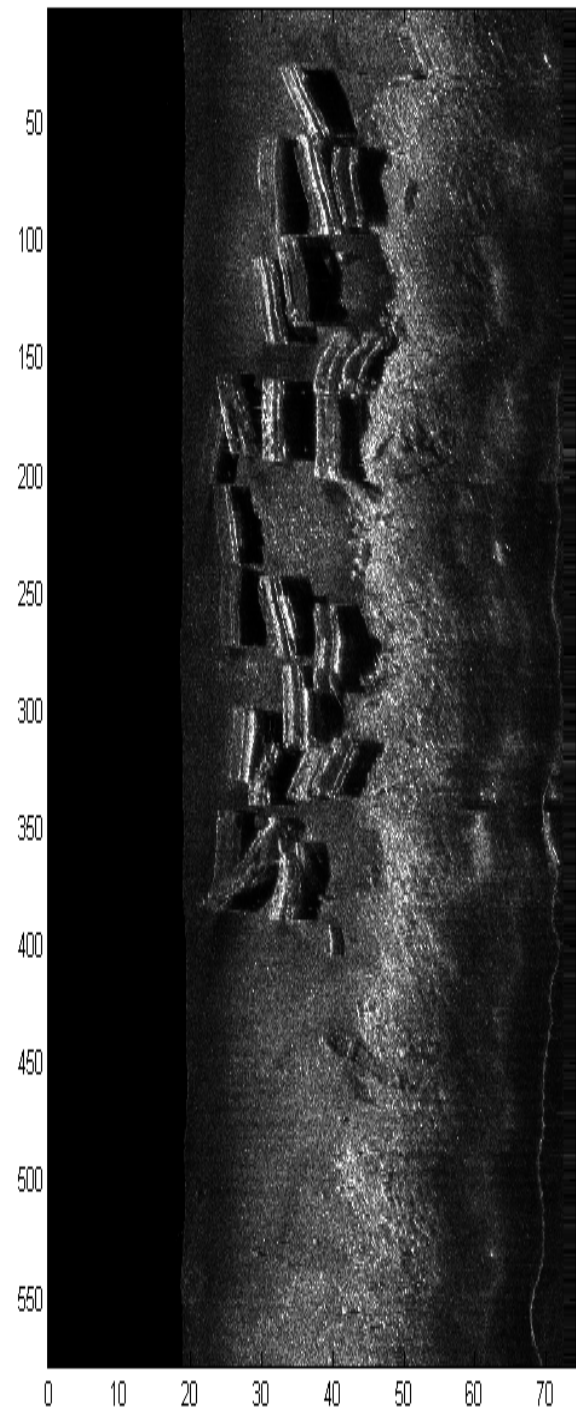
- Les directeurs du Master Sciences de l'Ingénieur (SdI) de l'UPMC Jean-Luc ZARADER et Régis MARCHIANO qui ont financés le déplacement à Brest pour faire les essais.
- Le directeur de l'ENSTA Bretagne Patrick PUYHABILIER pour avoir mis à disposition la vedette d'essai et pour avoir accueilli les 4 étudiants de l'UPMC.
- Christian OLLIVON et Pierre SIMON, techniciens à l'UPMC et à l'ENSTA Bretagne respectivement, pour leur implication dans ce projet.

Références

- [1] X. Lurton, An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications, 2nd ed., Springer-Praxis, 2010



*Figure 8a: Images de blocs de pierre
(1 seul élément en réception).*



*Figure 8b: Image de blocs de pierre
(7 éléments en réception).*



*Figure 9a: Images d'épaves
(1 seul élément en réception).*



*Figure 9b: Image d'épaves
(7 éléments en réception).*