

## CFA/VISHNO 2016

**S2MF - Sondeur et Sonar Multi-Fréquentiels**

J. Marchal<sup>a</sup>, I. Mopin<sup>b</sup>, M. Legris<sup>b</sup>, Y. Le Gall<sup>c</sup> et X. Lurton<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Institut d'Alembert, Sorbonne Université, UPMC, CNRS, UMR 719, 2 Place de la gare de ceinture, 78210 Saint Cyr L'Ecole, France

<sup>b</sup>ENSTA Bretagne, UMR 6285, Lab-STICC, STIC-OSM, 2 Rue François Verny, 29200 Brest, France

<sup>c</sup>IFREMER, Centre de Brest - ZI de la Pointe du Diable, CS 10070, 29280 Plouzané, France

[jacques.marchal@upmc.fr](mailto:jacques.marchal@upmc.fr)



LE MANS

Le projet S2MF (Sondeur et Sonar Multi-Fréquentiels) propose de combiner d'une part l'émission saturée multi fréquentielle, et d'autre part des capteurs large bande en réception. Pour obtenir les composantes harmoniques, l'émission multi-fréquentielle exploite la non-linéarité de la propagation : une onde sinusoïdale émise à fort niveau se déforme en "dent de scie" au fur et à mesure de sa propagation. La source étant unique, les faisceaux harmoniques ainsi générés sont donc parfaitement corrélés, et les images obtenues aux différentes fréquences sont parfaitement calées en temps et en espace. Le but initial de ce projet est de mesurer avec précision la rétrodiffusion des fonds marins (ou de bancs de poissons ou de couches planctoniques) pour les caractériser. Cependant, de nombreuses autres applications duales sont envisageables. Par exemple, un système imageur pourra détecter des objets posés sur le fond (flaques d'hydrocarbure par exemple) ou même enfouis à faible profondeur en fonction de sa fréquence fondamentale. Les avancées sur ce projet sont présentées (ce projet est financé par l'ANR et la DGA / ANR-14-ASTR-0022-00).

## 1 Introduction

En acoustique sous-marine, la diversité fréquentielle est essentielle pour extraire des informations pertinentes sur la nature du fond. Une expérience [1,2] a été conduite pour évaluer la capacité de plusieurs instruments d'exploration à détecter des flaques de pétrole couvrant le fond. La conclusion claire de cette étude a été que chaque instrument travaillant sur une bande limitée de fréquence a apporté une information complémentaire : l'approche multi-fréquentielle permet non seulement de détecter les flaques d'hydrocarbure, mais aussi d'estimer leur épaisseur. Dans le domaine halieutique, la multiplicité fréquentielle est aussi utilisée par des sondeurs (constitués de plusieurs transducteurs) pour caractériser les espèces imagées et affiner ainsi l'évaluation de la biomasse. L'approche multi-fréquentielle paraît donc incontournable pour une caractérisation performante du milieu marin. Cependant, quand plusieurs systèmes acoustiques différents sont mis en œuvre pour explorer une zone, la principale difficulté est de fusionner les données obtenues dans des conditions de géométrie différentes [3]. Le projet S2MF (Sondeur/Sonar Multi-Fréquentiel) vise à valider le concept d'un système de sondage ou d'imagerie multi-fréquentielle associant d'une part l'émission saturée non-linéaire et d'autre part des récepteurs large-bande.

Pour obtenir les composantes harmoniques, l'émission multi-fréquentielle consiste à exploiter la non-linéarité de la propagation : en émettant à fort niveau, une onde initialement sinusoïdale se déforme en dent de scie au fur et à mesure de sa propagation. La source est unique, aussi bien dans l'espace que dans le temps. Les faisceaux aux différentes harmoniques sont donc parfaitement corrélés, de telle sorte que les données obtenues aux différentes fréquences sont parfaitement synchronisées pour être directement exploitées. Des travaux antérieurs présentés dans cet article sur la génération harmonique ont prouvé la faisabilité d'un tel émetteur multi-fréquentiel. La difficulté pour le projet S2MF réside dans la conception de capteurs en réception permettant l'acquisition des échos des différentes harmoniques. La finalité de ce projet est d'obtenir un système multi-fréquentiel permettant de caractériser et/ou d'imager les fonds marins : les deux démonstrateurs seront un sondeur mono-faisceau multi-fréquentiel et un sonar latéral multi-fréquentiel. Le rôle principal de ces deux systèmes complémentaires sera la mesure précise de la rétrodiffusion des fonds marins. A plus long terme et pour exemple, des applications envisageables peuvent être l'imagerie de nappes d'hydrocarbures déposés sur le fond ou bien la détection d'objets enfouis comme des mines dans la couche sub-surface sédimentaire.

La première partie présente les résultats antérieurs obtenus en émission saturée. La seconde partie expose les différentes idées pour concevoir des récepteurs large bande dédiés au projet.

## 2 Emission non linéaire

Nous présentons dans cette partie les résultats des études de l'émission multi-fréquentielle qui ont fait l'objet de plusieurs collaborations entre l'Ifremer et l'Université Pierre et Marie Curie. La faisabilité d'exploiter la non-linéarité de la propagation pour générer les harmoniques supérieures a été tout d'abord estimée par un modèle simple de l'équation de Burgers modifiée en tenant compte de la divergence du faisceau (modèle pseudo-1D) [4,6]. Deux antennes ont été testées et étalonnées : l'une circulaire et directive, l'autre linéaire dédiée à l'application de type sonar latéral. Un amplificateur de forte puissance de classe E/D utilisant des IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) a été spécifiquement élaboré pour ces tests.

La faisabilité de l'émission multi-fréquentielle a tout d'abord été testée avec une antenne circulaire (figure 1) de diamètre 18 cm et de fréquence de résonance 100 kHz, ce qui lui confère une ouverture de 5°. Sa bande passante est de l'ordre de 13 kHz. En émission multi-fréquentielle, le niveau émis devait être bridé pour ne pas générer de cavitation (5 kW max). Les niveaux mesurés à faible distance (max 7 m) étaient compris entre 230 dB ref 1µPa@1m pour la première harmonique et 195 dB ref 1µPa@1m pour la quatrième harmonique (les ouvertures sont respectivement de l'ordre de 5° et 2,5°). La figure 1 résume les résultats obtenus. On constate notamment que les ouvertures des diagrammes de directivité diminuent avec la fréquence (mais moins rapidement que si l'on émettait directement et linéairement ces harmoniques avec une antenne de taille identique).

Des tests ont ensuite été menés avec une antenne linéaire de type sonar latéral dédiée à l'imagerie. La difficulté réside dans le fait que cette antenne n'est pas directive selon l'un de ses axes, ce qui défavorise la génération non-linéaire des harmoniques. Les résultats obtenus sont présentés figure 2. Une antenne de type sonar latéral (1°×25° à 100 kHz) a été construite et calibrée en bassin (seules les 5 premières harmoniques sont mesurées). La figure 2 montre l'évolution des niveaux atteignables en fonction de la puissance ou en fonction de la distance. Finalement, à une distance de 40 m, les niveaux émis des 5 premières harmoniques se situent dans une fourchette comprise entre 217-235 dB ref 1µPa rms@1m. Ces niveaux étaient au-delà des objectifs visés, surtout pour une antenne relativement ouverte selon l'une des directions.

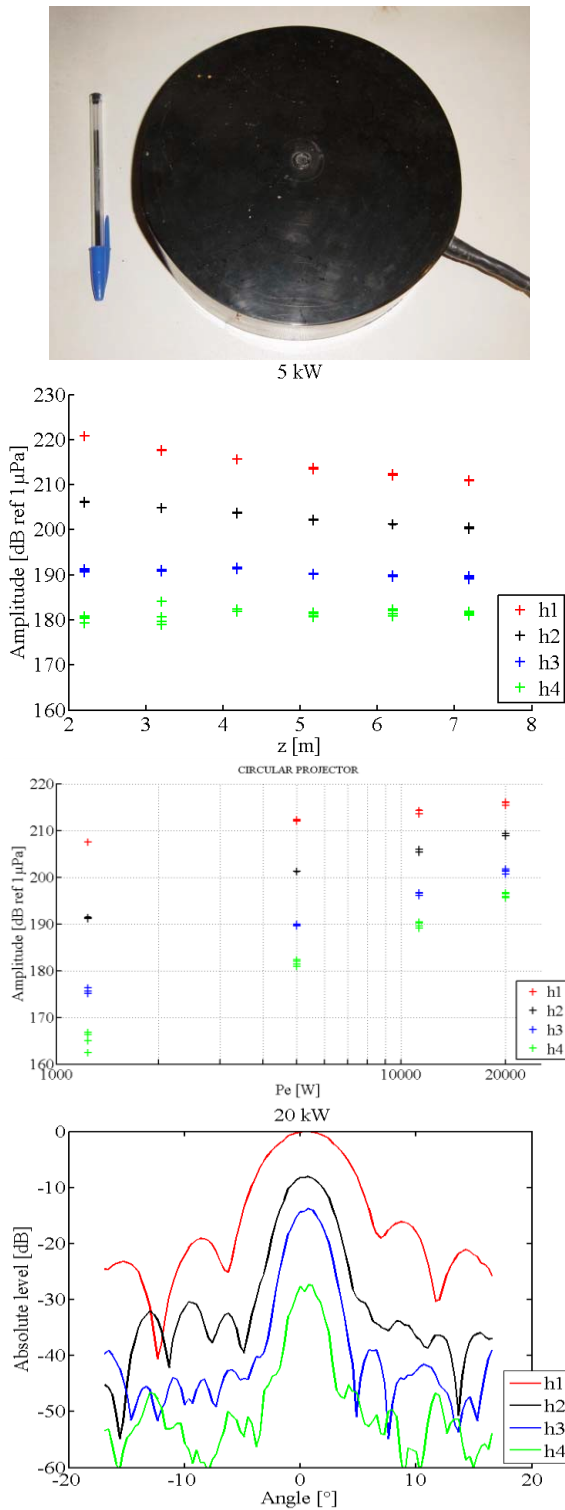
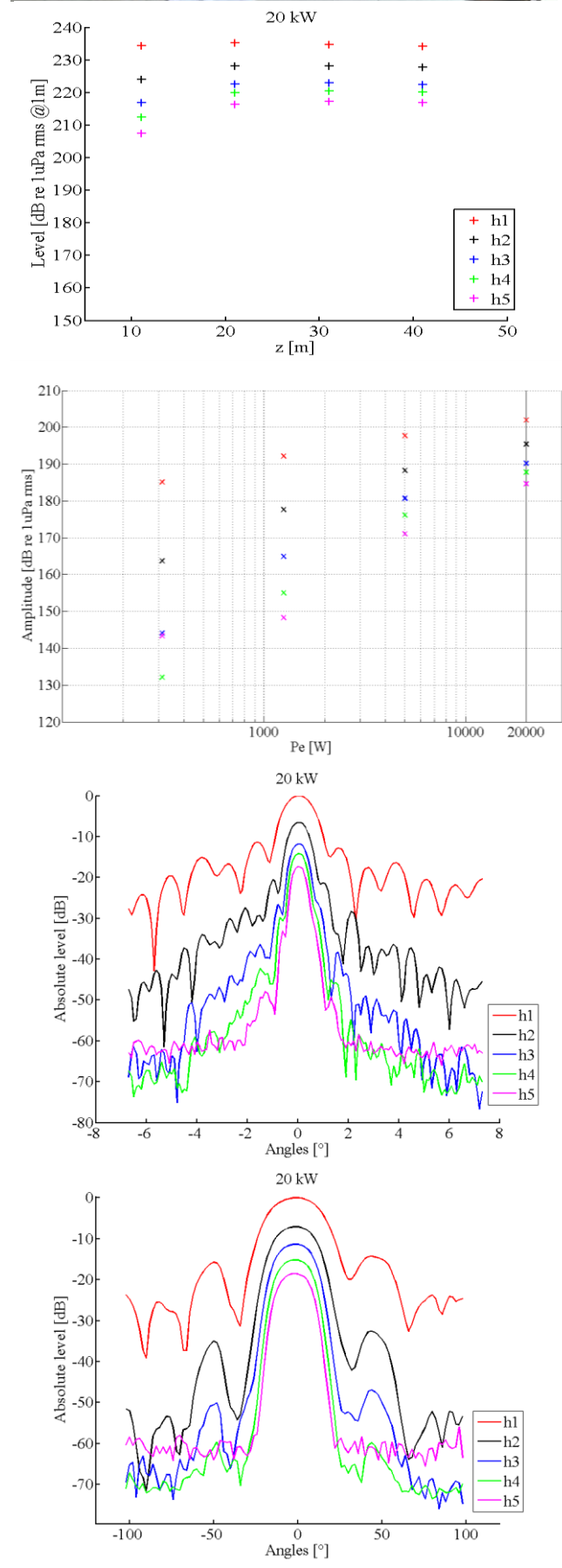


Figure 1 : caractéristiques multi-fréquentielles de l'antenne circulaire. De haut en bas : photo de l'antenne ; mesures à différentes distances pour 5 kW ; mesures à 6 m pour différents niveaux ; directivités des 4 premières harmoniques à 6 m pour 20 kW.

Figure 2 (ci-contre) : caractéristiques multi-fréquentielles de l'antenne linéaire. De haut en bas : photo de l'antenne ; mesures à différentes distances pour 20 kW ; mesures à 41 m pour différents niveaux ; directivités en site des 5 premières harmoniques à 41 m pour 20 kW ; directivités en azimut des 5 premières harmoniques à 41 m pour 20 kW.



En observant les signaux temporels sur la figure 3, les effets non linéaires sont facilement identifiables (déformation de l'onde initialement sinusoïdale en "dents de scie"). On distingue aussi clairement les 5 premières harmoniques dans le contenu spectral du signal enregistré.

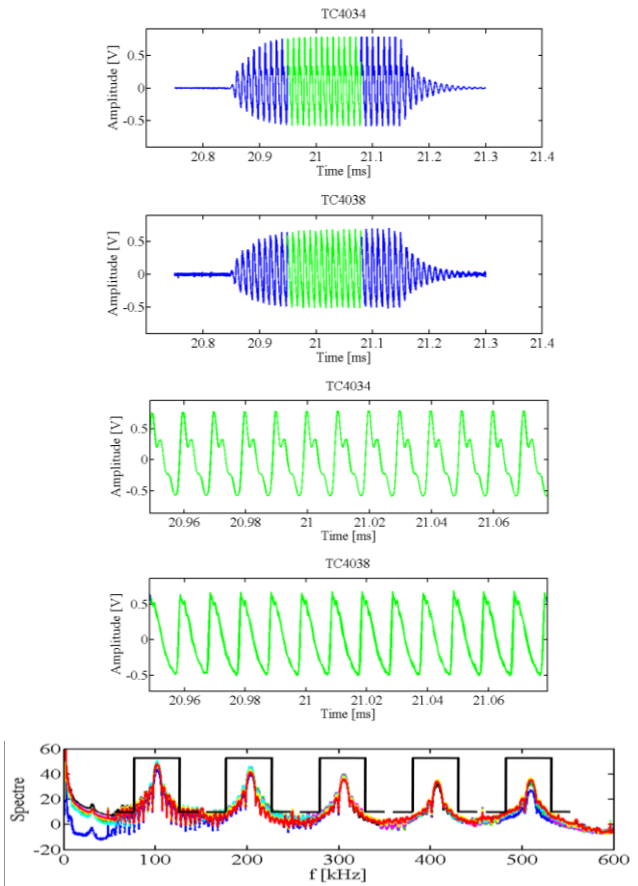


Figure 3 : Signaux temporels acquis avec deux hydrophones. Mesures réalisées au bassin de l'Ifremer (hydrophone TC4034 : bande passante limitée à 500kHz, hydrophone TC4038 : bande passante limitée à 800kHz). De haut en bas : mesures à 41m ; zoom sur le signal (à noter que le signal est déformé avec l'hydrophone TC4034 car seules les 5 premières harmoniques sont mesurées à cause de la bande passante de l'hydrophone) ; spectres typiques mesurés.

### 3 Réception large bande

L'émission de type multi-fréquentiel (saturation non linéaire du signal) a été validée et les résultats obtenus sont encourageants. La difficulté réside maintenant dans la réception de ces signaux large bande, ce qui constitue le verrou principal de ce projet. Pour réaliser les mesures présentées précédemment (voir Figure 3), des hydrophones standards ont été utilisés (omnidirectionnels et sensibilités en réception sur une grande plage de fréquence). Leur utilisation est donc très délicate lorsque qu'ils sont montés sur une structure d'essai (typiquement on reçoit le signal direct et des réflexions parasites qui sont provoquées par la structure porteuse ou par la coque). C'est actuellement la phase de recherche du projet S2MF. Plusieurs solutions sont envisagées et les trois principales idées sont brièvement présentées. Il faut noter que la faible sensibilité d'un capteur large bande sera compensée par le fort niveau d'émission de l'émetteur.

### 3.1 Hydrophones bafflés

L'idée, pour réaliser dans un premier temps des mesures en mer, est de baffler les hydrophones (TC4034 de chez Reson) en les insérant dans un bloc de mousse syntactique plat ou ouvert sur un secteur de +/- 45° (la figure 4 représente la première solution qui équipe en réception le sondeur mono-faisceau multi-fréquentiel). Les deux solutions ne sont pas convenables, la première présentant des variations de sensibilité trop importantes entre chaque harmonique, et la seconde des variations de diagrammes de directivités rédhibitoires. Cependant cela a permis de réaliser des pré-essais en mer (qui seront présentés lors du congrès).

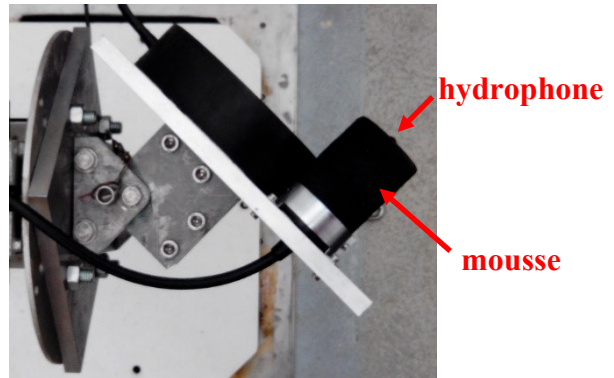


Figure 4 : Système mono-faisceau avec hydrophone bafflé.

### 3.2 Céramiques avec un backing en air

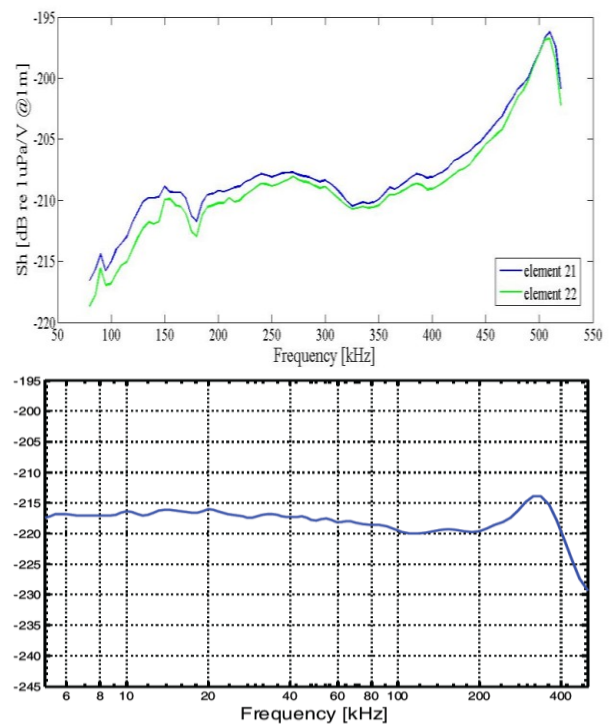


Figure 5 : Sonde constituée de céramiques sciées avec backing en air. En haut : sensibilité obtenue. En bas : sensibilité de l'hydrophone Reson TC4034.

L'une des solutions pour obtenir un hydrophone hémisphérique (qui ne reçoit aucun écho de l'arrière) est d'exploiter le backing (absorbant les ondes à l'arrière du transducteur) qui est souvent composé de matériaux lourds

(pour augmenter la réflectivité et empêcher l'onde de s'y propager) et absorbants (pour diminuer l'amplitude de l'onde qui s'y propage). On propose ici de réaliser un *backing* en air, ce qui constitue un réflecteur parfait (mais non absorbant) et surtout indépendant de la fréquence. Les céramiques sont utilisées dans le domaine quasi-statique (jusqu'à la première résonance). Les sensibilités obtenues sont faibles mais varient linéairement sur la plage d'utilisation (voir figure 5). A titre de comparaison, l'hydrophone TC4034 de chez Reson a une sensibilité plus ou moins constante de  $-218$  dB ref  $1\text{V}/\mu\text{Pa}$ . Des améliorations restent à apporter comme alourdir l'arrière de la céramique (pour augmenter la masse de l'équipage "masse + céramique" et donc améliorer la sensibilité du récepteur).

### 3.3 PVDF

Les films PVDF (fluorure de polyvinylidène) présentent l'avantage d'être flexibles et peuvent être disposés sur des surfaces courbes. Cette technologie qui émerge depuis quelques années dans le monde de l'acoustique sous-marine est aussi un candidat intéressant pour réaliser un capteur large bande. Un premier prototype (voir figure 6) a été réalisé en collant deux morceaux de 1mm d'épaisseur (masse vers l'extérieur pour isoler du bruit électrique) sur un support en inox de 2mm. La faible épaisseur du matériau utilisé implique une faible sensibilité qui nécessite un soin tout particulier pour le conditionnement du signal reçu (l'augmentation de la surface du capteur augmente la charge recueillie et non la tension ce qui nécessite un amplificateur de charge).



Figure 6: Sonde prototype constituée d'une double couche inversée de PVDF. Surface de réception de  $10\text{ mm} \times 40\text{ mm}$

## 4 Conclusion

Le projet S2MF propose de combiner d'une part l'émission saturée multi-fréquentielle et d'autre part des

capteurs large bande en réception. A ce jour, l'émission de type multi-fréquentiel a été validée sur deux antennes (de type mono-faisceau et sonar latéral). Cependant, le capteur large bande définitif n'a pas été encore défini mais plusieurs prototypes ont déjà été testés. Des premiers essais ont été réalisés en mer avec l'antenne de type mono-faisceau et un hydrophone bafflé. Ces derniers ont révélé la nécessité d'étudier d'autres points tels que la calibration précise du système complet, la stabilité dans le milieu marin ou encore la problématique de la représentation des résultats finaux (coefficient de rétrodiffusion). Ces différents points et les premiers résultats obtenus seront présentés lors de la conférence.

## Remerciements

Le projet S2MF est financé par l'ANR ASTRID (ANR-14-ASTR-0022-00).

## Références

- [1] Expérimentation de capteurs acoustiques pour repérer le pétrole immergé (EXCAPI) – Soutien du ministère de la recherche n° 01 G 0815 via le réseau RITMER (Réseau de recherche et d'innovation technologique sur les pollutions accidentelles et leurs conséquences écologiques).
- [2] F. Parthiot, E. de Nanteuil, F. Merlin, B. Zerr, Y.Guedes, X. Lurton, J.-M. Augustin, P. Cervenka, J.Marchal, J.P. Sessarego and R. K.Hansen, Sonar detection and monitoring of sunken heavy fuel oil on the seafloor, NOSCA, Interspill 2004, 14-17 juin 2004, Trondheim.
- [3] CALIMERO: projet IFREMER – SHOM. Surveys in the Mediterranean Western Basin (1st cruise September 2004, 2de cruise: April 2005).
- [4] L. Di Marcoberardino, J.Marchal and P.Cervenka, Nonlinear multi-frequency generation for underwater application, Applied Acoustics, 73(9), 900-903, 2012.
- [5] L. Di Marcoberardino, J.Marchal and P.Cervenka, Nonlinear multifrequency transmitter for seafloor characterization, Acta Acustica, 97(2), 202-208, 2011.
- [6] J. Marchal, L. Di Marcoberardino and P. Cervenka, Seafloor characterization by means of nonlinear multi-frequency generation, Seatechweek, 2012, Brest.