

Acquisition et estimation de la réponse impulsionnelle du fond par un système sonar large-bande.

B. Danet E. Gonneau B. Aragon

Laboratoire d'Acoustique, de Métrologie, d'Instrumentation (L.A.M.I.)
 38, rue des 36 Ponts 31400 Toulouse France, Tel: 61 55 65 33, Fax: 61 25 94 78

RÉSUMÉ

Dans l'étude que nous présentons, nous nous sommes intéressés à la caractérisation de la nature des fonds. Nous décrivons l'instrumentation que nous avons développée, ainsi que les résultats obtenus. La reconnaissance de la nature des fonds est obtenue par classification des paramètres du modèle AR de la réponse impulsionnelle du sol.

ABSTRACT

In the present work, we are concerned with the characterisation of different types of lake bed. We describe here the instrumentation we have developed, and the first results obtained. The recognition of the soil's nature is obtained by classifying the parameters of the AR model of the soil impulse response.

I. INTRODUCTION

En collaboration avec des hydrobiologistes nous nous intéressons à l'étude et à la réalisation d'outils d'échosondage adaptés aux lacs et aux retenues d'eau. Cette demande des biologistes a évolué et s'est rapprochée des besoins des gestionnaires des plans d'eau. Il s'agit maintenant de caractériser la nature des fonds pour suivre son évolution: augmentation de la sédimentation, relevé de la bathymétrie; et d'analyser son influence sur la biomasse. Ce suivi doit permettre d'optimiser les cycles de vidanges indispensables à la bonne exploitation des plans d'eau.

Dans cet article, nous décrivons l'instrumentation que nous avons réalisée, basée sur un sonar large bande. Nous présentons les algorithmes de traitement du signal utilisés afin d'obtenir la nature des fonds à partir de leur réponse impulsionnelle. Les résultats que nous présentons sont issus des premières campagnes de mesures effectuées sur différents types de fonds des réservoirs de Pareloup (Aveyron) et de Saint-Ferreol (Tarn et Garonne). Une des contraintes de cette instrumentation, imposée par le cadre expérimental est d'être portable, autonome et utilisable sur de petites embarcations.

II. TRAITEMENT DU SIGNAL

Pour acquérir la réponse impulsionnelle du fond sur une large bande spectrale, nous avons choisi d'émettre un bruit blanc et d'effectuer une intercorrélation à l'aide d'une Transformée Rapide de Hadamard (T.R.H.) [1]. Le calcul en temps réel de cet algorithme original, aussi utilisée en acoustique architecturale par exemple, est ici rendu possible grâce à l'utilisation d'un processeur de traitement du signal (D.S.P.).

Le bruit d'excitation est en fait une séquence binaire pseudo aléatoire (S.B.P.A.), qui possède des propriétés très proches de celles d'un bruit blanc. Il peut être obtenu à partir de N registres à décalages rebouclés à l'aide d'une fonction logique OU-Exclusif. La figure 1 représente un exemple d'une séquence de trois bits.

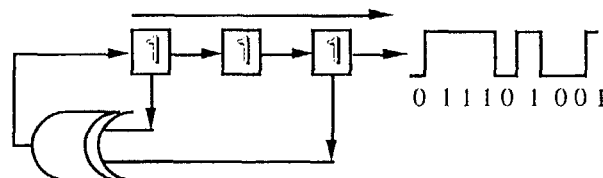


Fig. 1

La fonction d'autocorrélation du signal généré est d'autant plus proche de l'impulsion δ de Dirac que la séquence est longue, c'est à dire que le nombre N de registres est élevé.

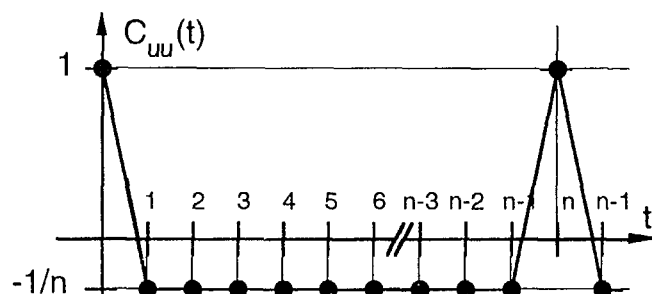


Fig. 2: Fonction d'autocorrélation de la SBPA.

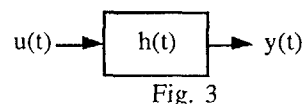


Fig. 3

Soit $C_{yu}(t) = u(t) \star y(t)$, la fonction d'intercorrélation entre l'entrée et la sortie du système. Si $C_{uu}(t) \approx \delta(t)$, nous obtenons



$C_{y_u}(t) = \delta(t) * h(t) = h(t)$, où $h(t)$ est la réponse impulsionnelle du système.

Cette technique de calcul, utilisant une séquence binaire, a été exposée par Schroeder Nelson et Fredman dans ce que l'on désigne par la spectroscopie d'Hadamard. Nous utilisons l'algorithme de transformée rapide de Hadamard, qui est très proche dans son principe de la transformée de Fourier rapide [1]. La séquence binaire étant pseudo aléatoire, elle est périodique, donc la longueur de la réponse impulsionnelle $h(t)$ doit être inférieure à la période de la séquence $T = (2^N - 1)T_H$. $F_H = 1/T_H$ est appelée la fréquence de bits, les deux paramètres T_H et N nous permettent de régler la longueur de la séquence.

Nous appliquons à la réponse impulsionnelle ainsi obtenue un test de Wald sur la variance, ce qui nous permet de délimiter la partie pertinente du signal. Puis pour retrouver la réponse du fond, nous déconvoluons ce signal par la réponse impulsionnelle du capteur.

Nous essayons ensuite, d'obtenir la nature des fonds et leur granulométrie (sédiments, sable, graviers, roche dure...) par une modélisation paramétrique de cette réponse impulsionnelle. Pour caractériser ce signal, nous avons utilisé un modèle auto-régressif AR(p). Les coefficients du modèle sont calculés à l'aide de l'algorithme de Leroux-Gueguen (ou de Schur). L'avantage de cet algorithme est de fournir des coefficients K_i ($i=1..p$), qui sont inférieurs à 1, d'où une implantation aisée sur les processeurs de traitement du signal en virgule fixe [4].

Pour effectuer la classification, nous avons retenu l'algorithme des centres mobiles [2]. Cette méthode fait partie de la classification en mode non supervisé. En ayant une connaissance a priori du nombre de classes, on peut ainsi construire une partition de l'ensemble étudié. On exécute les opérations suivantes:

- Pour chaque classe: calcul du centre de gravité.
- Réaffecter chaque individu, à la classe dont le centre de gravité est le plus proche, au sens de la distance euclidienne.
- Répéter l'étape a) tant que les modifications dans la composition des classes surviennent.

Cet étape représente la phase d'apprentissage, qui doit être réalisée sur des données bien représentatives de chaque nature de fond. En final, une fois que les barycentres sont connus avec assez de précision, il suffit d'indiquer à quelle classe appartient le nouvel échantillon mesuré.

III. DESCRIPTION DE L'INSTRUMENTATION

Nous allons présenter maintenant, l'instrumentation que nous avons développée en commençant par les transducteurs, puis les chaînes d'acquisition et de traitement numérique du signal.[3]

A. Les transducteurs

Il est impératif de connaître les caractéristiques exactes des transducteurs, afin de réaliser l'opération de déconvolution, ceci pour supprimer l'influence du capteur sur les échos du fond.

Ces caractéristiques sont liées à la céramique piézoélectrique utilisée ainsi qu'à leur conditionnement. Nous avons représenté sur la figure 4 ci-dessous le conditionnement des transducteurs qui sont utilisés aussi bien en émission qu'en réception. La lame de résine (Araldite) placée entre la céramique et l'eau sert à effectuer une adaptation d'impédance entre les deux milieux. Son épaisseur est donc liée à la gamme de fréquence que l'on souhaite exploiter. A contrario, la lame d'air placée sur la face interne, permet une désadaptation, éliminant ainsi les lobes arrière. Nous avons choisi de travailler dans la gamme des fréquences comprises entre 15 kHz et 75 kHz. Un filtre anti-repliement situé en aval du transducteur, permet de limiter le signal dans cette gamme de fréquence.

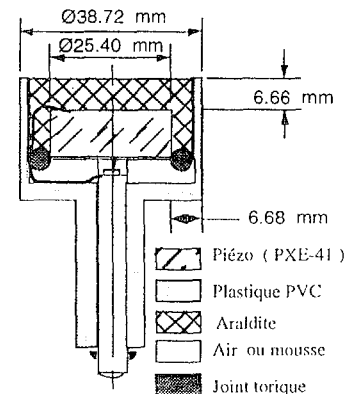


Fig.4: Conditionnement de la céramique

B. Chaînes d'acquisition et de traitement

Contrairement à un sonar classique, le sonar large bande que nous avons réalisé est entièrement numérique, aussi bien pour sa chaîne de réception que d'émission. Les capteurs et émetteurs sont quant à eux identiques à ceux d'un sonar classique. La figure 5 représente le schéma synoptique de notre instrumentation.

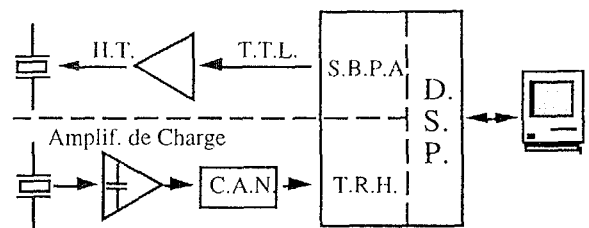


Fig. 5: Schéma synoptique de l'instrumentation.

Le processeur de traitement numérique du signal, permet d'obtenir les résultats quasiment en temps réel. Il génère d'une part la séquence binaire pseudo-aléatoire, et effectue le calcul de la transformée de Hadamard. L'utilisateur le commande à partir de l'ordinateur hôte, et peut choisir divers paramètres tels que : la longueur de la séquence binaire, et la fréquence de bits F_H .

Les résultats présentés dans le paragraphe suivant, ont été obtenus en prenant une séquence de 10 bits, et une fréquence de bits de 196 KHz. Si on se base sur une vitesse moyenne de propagation dans l'eau de 1500 m/s, chaque séquence durant 5.2 ms, elle se propage sur une longueur de 7.8m. La réponse impulsionnelle du fond est obtenue en calculant une moyenne sur 5 acquisitions. L'ordinateur hôte permet aussi, d'effectuer le stockage des données sur mémoire de masse, et de présenter graphiquement les signaux traités.

IV. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Après la description de l'instrumentation, nous présentons maintenant les premiers résultats expérimentaux que nous avons obtenus.

Nous devons tout d'abord caractériser la fonction de transfert des transducteurs. Afin de s'affranchir des ondes stationnaires, la mesure a été effectuée dans la zone la plus profonde (18 m) du lac de Saint Feréol (Haute Garonne), avec un support qui maintient les capteurs en vis à vis, de chaque côté du bateau à 2 m de profondeur (Fig.6).

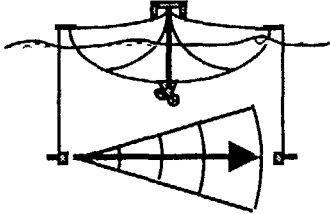


Fig. 6

Les courbes suivantes montrent la réponse impulsionnelle obtenue avec la transformée de Hadamard (Fig.7) et le spectre correspondant (Fig.8).

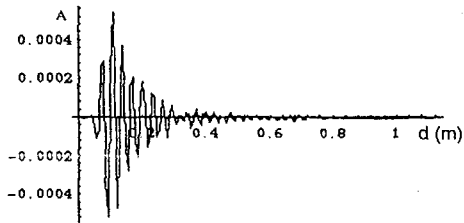


Fig. 7: Réponse impulsionnelle du capteur.

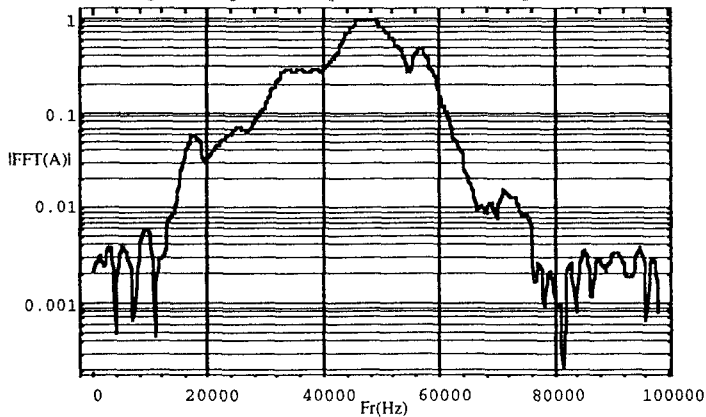
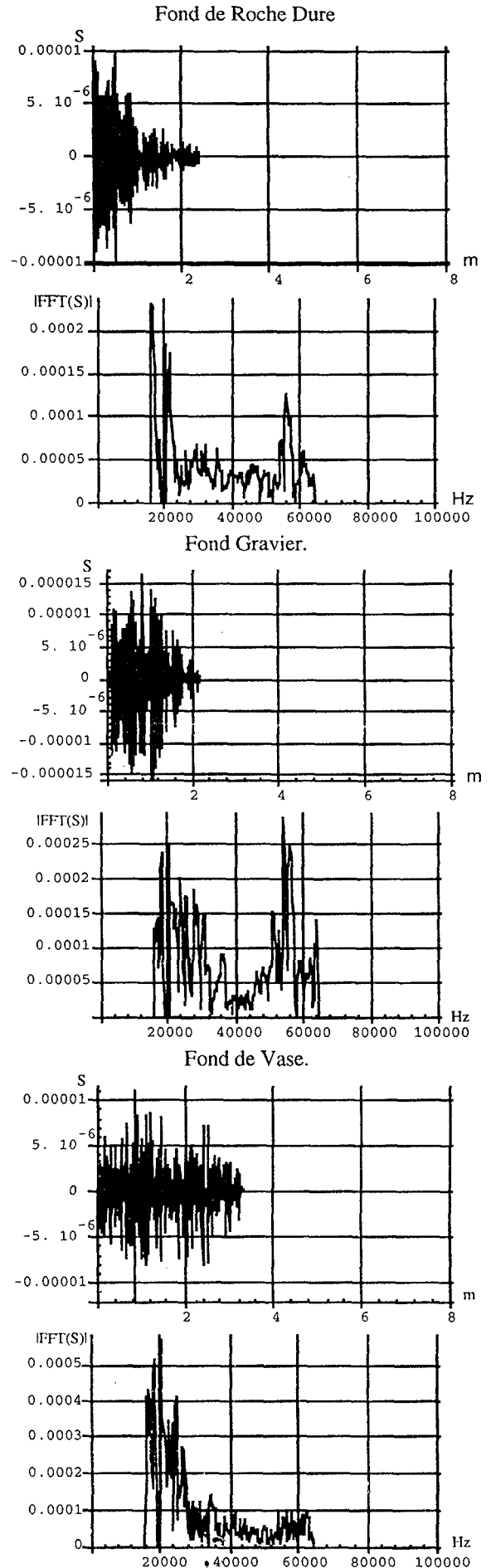


Fig. 8: Réponse en fréquence du capteur.

Ayant la réponse impulsionnelle du capteur, nous obtenons la réponse impulsionnelle du fond par déconvolution. Les figures suivantes montrent les signaux de trois types de fonds.





Nous avons pu relever la cartographie de la nature des fonds de ces retenues d'eau, lors de récentes vidanges. Cela nous permet ainsi d'avoir un ensemble de signaux test, représentatifs de sols de nature très différente. La modélisation AR de ces signaux, nous fournit les paramètres K_i ($i=1..P$), ainsi que la variance du bruit σ^2 . La décroissance de cette variance σ^2 , nous donne une estimation de l'ordre du modèle. Nous avons choisi de limiter la modélisation à un ordre 10. Un test de pertinence, nous a permis de déterminer les paramètres représentatifs du signal, qui sont les coefficients K_1 et K_3 . Nous montrons sur les figures 15 et 16 les premiers résultats que nous avons obtenus, avec 3 types de fond (vase, gravier, roche dure). Nous voyons que ces paramètres K_1 et K_3 localisent sans ambiguïté les trois classes de signaux.

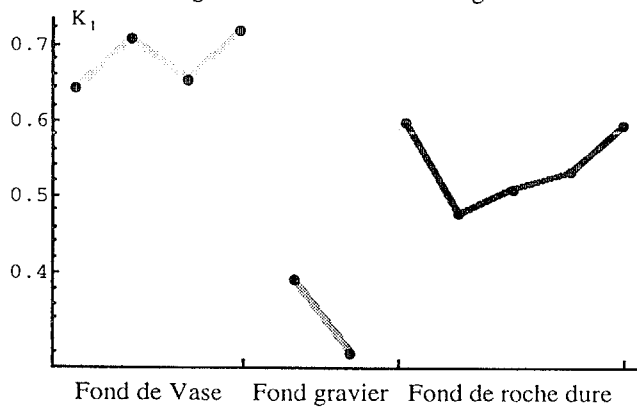


Fig. 15

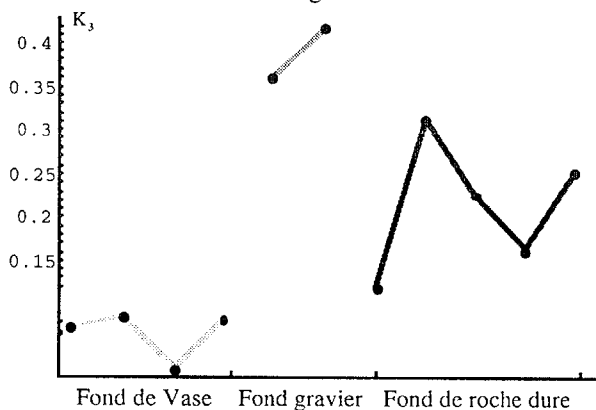


Fig. 16

V. CONCLUSION

A ce stade, nous avons réalisé et testé une instrumentation portable et autonome, qui nous permet d'étudier la nature des fonds lacustres. En implantant une transformée rapide de Hadamard, dans une carte D.S.P. nous pouvons obtenir la réponse impulsionnelle du fond quasiment en temps réel. Nous avons montré, que la modélisation AR fournissait des paramètres qui permettent de classer les différents types de signaux sans ambiguïté. Les autres paramètres, apportent une information supplémentaire, avec cependant un certain recouvrement de classes. Cette information peut être exploitée en mettant en oeuvre une étape supplémentaire de déduction, regroupant les différents cas d'appartenance aux classes. Les prochaines campagnes de mesures vont nous permettre de constituer une base de données plus importante, afin d'affiner la répartition des classes.

REFERENCES

- [1] Borish and J.B. Engel, *An efficient algorithm for measuring the impulse response using pseudorandom noise*, *J. Audio Eng. Soc.* vol 31 p478-488 July-Aug 1983
- [2] J.F. Trouilhet, *Etude et réalisation d'un dispositif de reconnaissance automatique de signature acoustique*, Thèse de Doctorat I.N.P. de Toulouse Juin 1992.
- [3] B. Danet, *Conception et réalisation d'une chaîne modulaire d'acquisition et de traitement du signal, application au sonar large bande*, Thèse de Doctorat I.N.P de Toulouse Juin 1995.
- [4] M. Kunt, *Technique modernes de traitement numérique des signaux*, Presses Polytechniques et universitaires romandes. 1991