

ANALYSE EN LARGE BANDE DU COMPORTEMENT ACOUSTIQUE DU FOND SOUS-MARIN

N.MA*, D.VRAY, P.DELACHIARTRE, A.DZIEDZIC**, G.GIMENEZ

Laboratoire de Traitement du Signal et Ultrasons

URA CNRS 1216, Bat.502, INSA 69621 Villeurbanne cedex

** Station d'Hydrobiologie Lacustre, INRA,74203Thonon-lesbains

RÉSUMÉ

En RADAR ou SONAR, la Fonction d'Ambiguïté est utilisée en général pour estimer la position et la vitesse d'une cible mobile. Dans ce travail nous proposons plutôt d'interpréter la fonction d'ambiguïté en terme de fonction de corrélation en temps et en fréquence. Le calcul de la fonction d'ambiguïté sur des échos provenant de fonds sous-marins fournit alors des informations concernant les différentes interfaces (sol et sous-sol) rencontrées par l'onde ultrasonore incidente. Ce sont principalement, la position des couches sédimentaires ainsi que le coefficient global d'atténuation du sédiment.

I. Position du problème

Des échos de fond sous-marin ont été collectés sur le lac Léman en mars 1992[1]. Nous avons utilisé un sonar large bande (20-140 kHz) à directivité constante dans toute la bande de fréquence. Les signaux émis par le sonar sont de type "chirp" de durée 0,5 ms, ils sont modulés linéairement en fréquence sur toute la durée du signal. Les signaux échos considérés sont à produit BT élevé (BT=60) ce qui nous a conduit à mettre en oeuvre soit des méthodes de type temps-fréquence soit des méthodes de type corrélation (fonction d'ambiguïté) pour l'analyse des échos. L'objectif principal est de faire apparaître dans

ABSTRACT

The Ambiguity Function is commonly used for the estimation of the velocity and of the distance of a moving target. In this work we propose to interpret the ambiguity function as the correlation function in time and in frequency. The calculation of the ambiguity function of echoes from the sea bottom displays information concerning the various interfaces encountered by the incident ultrasonic wave (layered bottom). The measured parameters are : the position of each layer of the sediment and the overall attenuation coefficient.

chaque type de fond (sable, vase, rochers ...) des caractéristiques discriminantes d'un fond à l'autre. L'idéal est évidemment de pouvoir bâtir un modèle du fond.

II. Méthode de traitement des échos sonar

Nous avons calculé pour chaque écho de fond la fonction d'inter-ambiguïté

$$\chi(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) x(t-\tau) \exp(-2j\pi ft) dt$$

C'est la fonction d'ambiguïté "bande étroite" dite de Woodward dont on représentera le module au carré.

* précédemment à l'Université Polytechnique du Nord-ouest ,R.P.Chine



$y(t)$ est le signal écho du fond.

$x(t)$ est le signal expérimental électrique d'excitation du sonar (chirp).

On réalise ainsi l'analyse du signal écho par des répliques décalées en temps et en fréquence du signal d'émission. Notons que la vitesse radiale sonar-cible est nulle dans le cas traité. L'analyse de la fonction d'ambiguïté fait apparaître des motifs parallèles qui sont autant de répliques (surement déformées) du signal émis ce qui est interprété comme la réflexion de l'onde incidente sur différentes interfaces. La coupe de la fonction d'interambiguïté pour $f=0$ correspond à la fonction d'intercorrélation entre $x(t)$ et $y(t)$ et on y retrouve des maxima le long de l'axe des décalages. Dans notre cas le produit BT des signaux émis est élevé et les maxima sont "étroits" (effet de compression) ce qui favorise leur localisation. En effet, la résolution attendue est proche de $1/B$, soit une résolution en distance de l'ordre du centimètre pour des vitesses de propagation des ondes ultrasonores voisines de 1500 m/s.

III Résultats

Des signaux échos rétrodiffusés par plusieurs types de fonds du lac Léman ont été acquis. Nous présentons ici principalement des échos de sable et de vase. La figure 1 montre le signal émis, son spectre et sa représentation temps-fréquence (Distribution de Pseudo Wigner-Ville -DPWV). La figure 2a montre le signal écho rétrodiffusé par un fond de sable, en 2b on donne une représentation de la fonction d'interambiguïté entre le signal de sable et le signal émis. Il apparaît clairement des motifs bien distincts qui montrent que le signal écho contient des répliques décalés du signal émis. La figure 2c montre la fonction d'intercorrélation qui présente des maxima locaux correspondant à la position des motifs de la fonction d'interambiguïté. Les décalages temporels

correspondant à la position des maxima ont pour valeur:

$$\tau_1 = 0,15 \text{ ms}; \quad \tau_2 = 0,27 \text{ ms};$$

$$\tau_3 = 0,40 \text{ ms}; \quad \tau_4 = 0,47 \text{ ms}.$$

En choisissant une vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans le sable de 1730 m/s, les profondeurs équivalentes sont:

$$d_1 = 12,9 \text{ cm}; \quad d_2 = 23,3 \text{ cm};$$

$$d_3 = 34,6 \text{ cm}; \quad d_4 = 40,6 \text{ cm}.$$

Globalement donc la pénétration de l'onde est de 40 cm dans le sédiment. Une partie de l'énergie est rétrodiffusée par des interfaces localisées plus en profondeur (50-60 cm) mais leur contribution reste faible.

Ces résultats tendent à montrer que le fond étudié peut être modélisé par un ensemble de couches sédimentaires. Chaque interface est caractérisée par un coefficient de réflexion. Reprenant et simplifiant le modèle géoacoustique de fond proposé par Cobo-Parra et Ranz-Guerra^[2], nous pouvons faire l'hypothèse que le fond étudié peut être modélisé par un système linéaire de réponse impulsionnelle:

$$h(t) = \exp(-\alpha t) \sum_{i=1}^N \delta(t-\tau_i) \quad (1)$$

$$= \sum_{i=1}^N \alpha_i \delta(t-\tau_i)$$

avec $\alpha_i = \exp(-\alpha \tau_i)$

où N est le nombre de couches sédimentaires pris en compte;

τ_i est le décalage temporel correspondant à la couche i ;

α est le coefficient global d'atténuation qui englobe les divers phénomènes qui tendent à réduire l'énergie de l'écho reçu: atténuation, perte en transmission, réverbération de volume, réverbération de surface.

Soit $x(t)$ le signal chirp émis et $C_{xx}(\tau)$ sa fonction d'autocorrélation. Avec les précédentes hypothèses, le signal écho reçu est de la forme:

$$y(t) = x(t) * h(t)$$

et $C_{yx}(\tau)$ est la fonction d'intercorrélation de la figure 2c.

On déduit:

$$C_{yx}(\tau) = C_{xx}(\tau) * h(\tau) \\ = \sum_{i=1}^N \alpha_i C_{xx}(\tau - \tau_i)$$

De la fonction d'intercorrélation $C_{yx}(\tau)$, figure 2c, on peut déduire les valeurs de α_i données par l'amplitude des pics aux instants τ_i . Les valeurs mesurées pour α_i sont

$$\alpha_1=0,43 ; \alpha_2=0,344 ; \alpha_3=0,237 ; \alpha_4=0,219$$

Faisons l'hypothèse d'une atténuation constante (indépendante de la profondeur), c'est à dire une loi de variation exponentielle pour les α_i (1), on déduit par régression linéaire, la valeur de α :

$$\alpha = 2,4 \text{ Np/ms} .$$

α est un coefficient qui varie linéairement avec la fréquence^[3] :

$$\alpha = kf$$

Faisons l'hypothèse que la valeur de α est valide pour la fréquence centrale du chirp (80 kHz), alors on obtient une estimation de k :

$$k=0,03 \text{ Np/ms/kHz}$$

ce qui est proche des résultats de la littérature dans le cas de fond de sable^[4].

La figure 3a montre un signal pour un fond de vase ainsi que sa fonction d'interambiguïté (3b) qui montre, cette fois, des motifs bien moins distincts que dans le cas du sable. La figure 4a et 4b montrent la représentation temps-fréquence des signaux échos du sable et de la vase. La localisation de l'énergie dans le plan temps-fréquence est complexe. On remarque que l'énergie a diffusé dans le sol de manière différente en fonction des fréquences, mais l'interprétation reste qualitative.

IV Conclusion

A travers l'analyse des signaux échos de fond de sable, acquis par sonar large bande (BT des signaux émis = 60), nous avons montré quelles

informations pouvaient être extraites. On observe principalement des motifs distincts dans la fonction d'interambiguïté. Leur position fournit la profondeur des couches sédimentaire dans l'hypothèse d'un fond stratifié. Le coefficient global d'atténuation est proche de celui relevé dans la littérature. Il reste toutefois à interpréter la représentation temps-fréquence de ces signaux, ce qui fournirait la dépendance de l'atténuation en fonction de la fréquence. Cette phase pourra difficilement être réalisée sans déconvoluer les signaux par la réponse de la chaîne de mesure.

Bibliographie:

- [1] P. Delachartre, D. Vray, F. Peyrin, A. Dziejcz, G. Gimenez, Time-frequency analysis applied to sandy bottom echoes, IEEE Ultrasonics Symposium, Octobre 1992, Tucson
- [2] P. Cobo-Parra and C. Ranz-Guerra, Impedance profile and overall attenuation estimation of layered sea bottoms from their normal incidence acoustic reflection response, J. Acoust. Soc. Am. 85(6), June 1989
- [3] Robert J. Urick, Principles of Underwater Sound, McGraw-Hill Book Company 1983
- [4] Edwin L. Hamilton, Geoacoustic modeling of the sea floor, J. Acoust. Soc. Am. 68(5) Nov. 1980

Note : Ce travail s'inscrit dans les orientations de recherche du GDR 134 du CNRS.

Ce travail a été réalisé avec le soutien de la DRET sous le contrat 90/049.

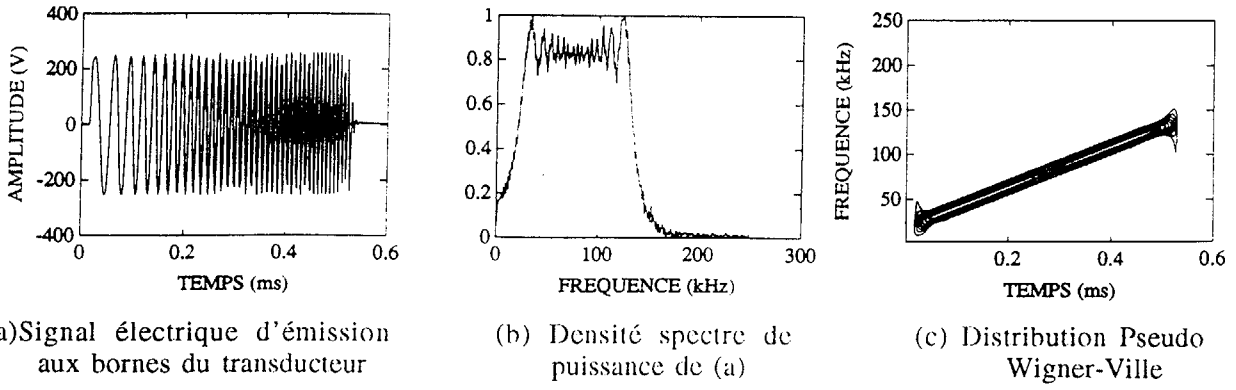


figure 1

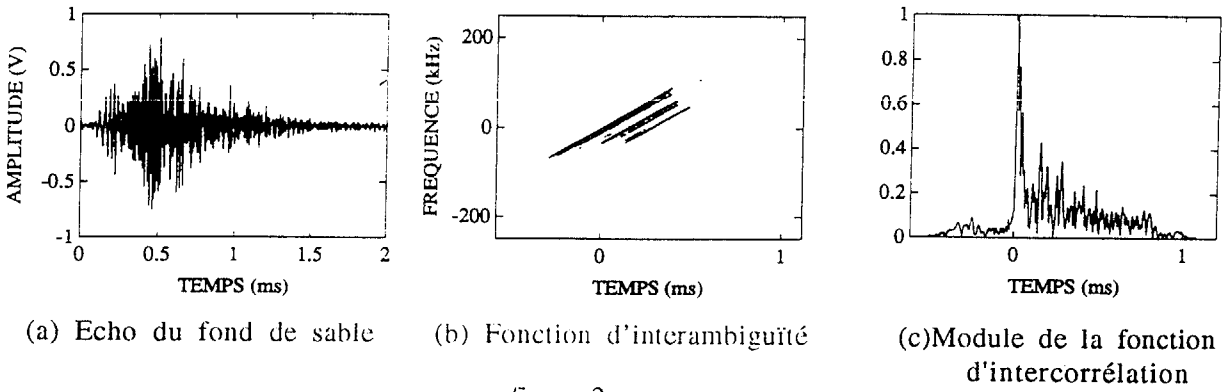


figure 2

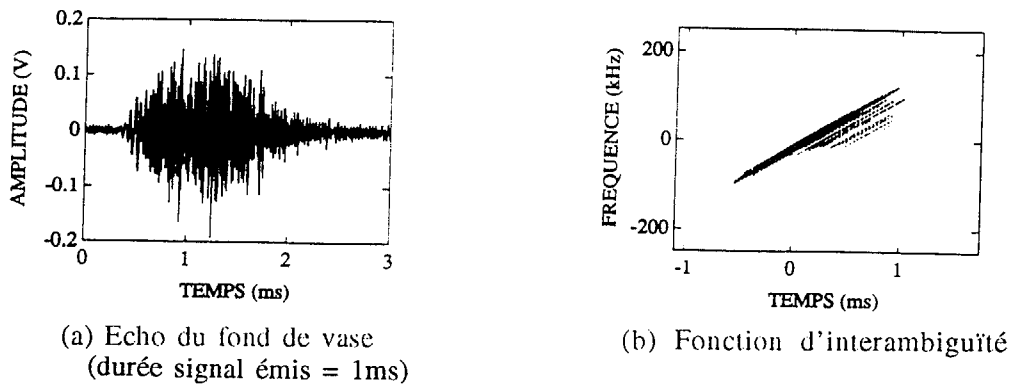


figure 3

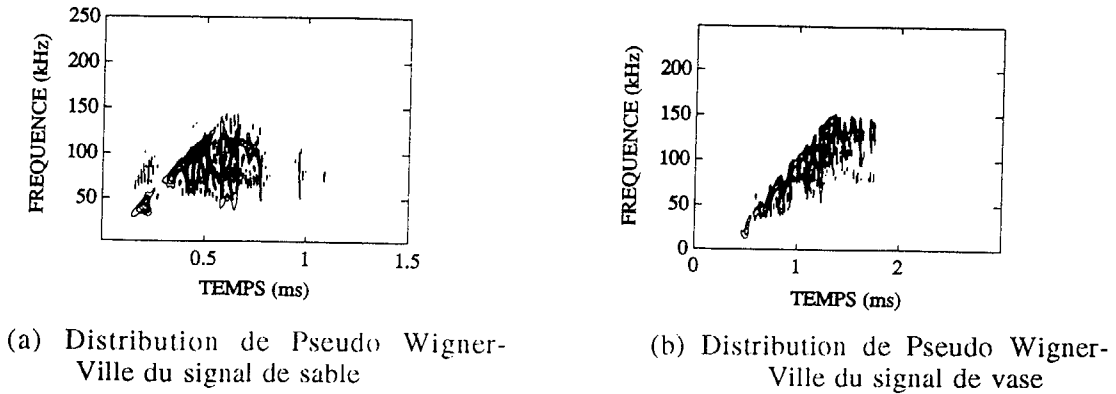


figure 4