HAL open science

Méthodes de déconvolution et Application à des données acoustiques

Stephanie Gautier, Matthias Holschneider, Ginette Saracco

To cite this version:

Stephanie Gautier, Matthias Holschneider, Ginette Saracco. Méthodes de déconvolution et Application à des données acoustiques. Veme journee d'Acoustique Sous-Marine, Brest 2000, 30/11-1/12, Centre de Cingres Le Quartz, Ifremer-Centre de Brest, G2RA, Nov 2000, Brest, France. pp.session 7: sismique. hal-03861007

HAL Id: hal-03861007

https://hal.science/hal-03861007v1

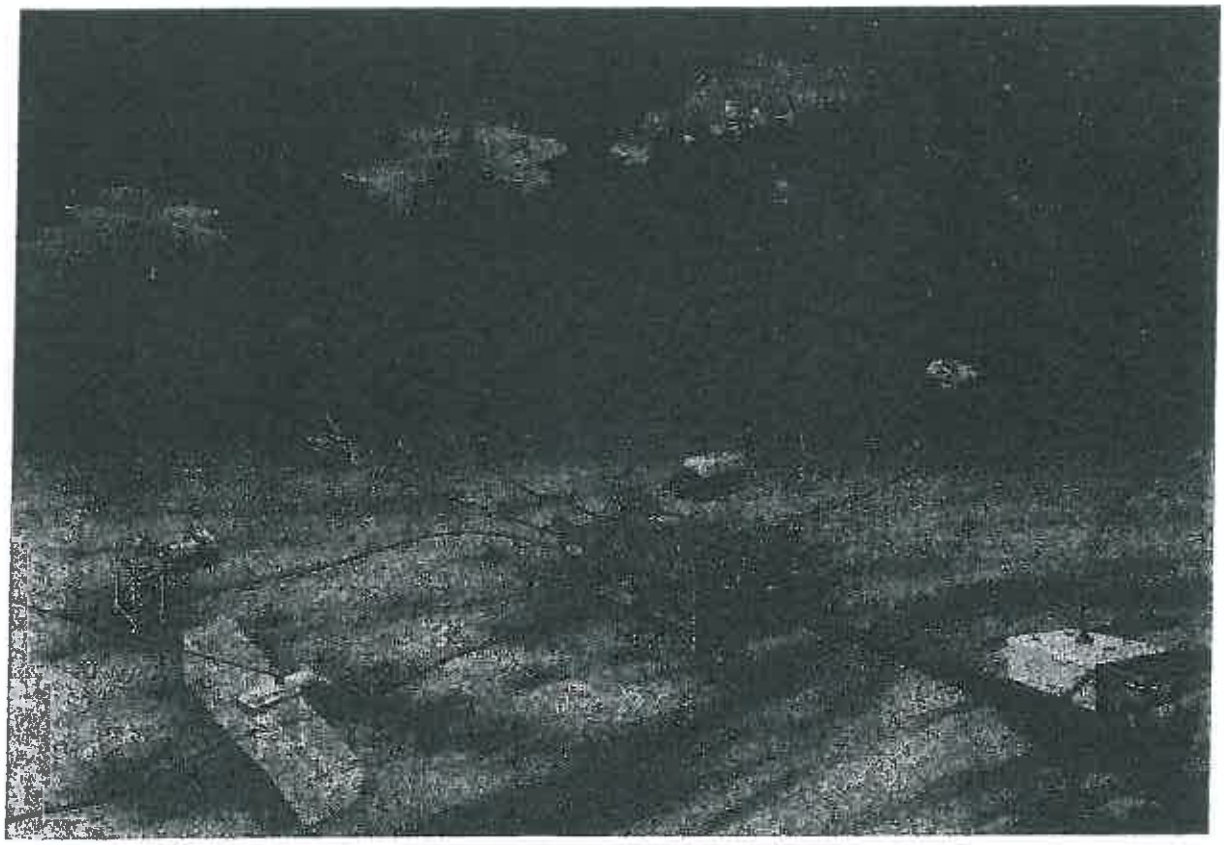
Submitted on 19 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ACOUSTIQUE SOUS-MARINE

5èmes journées



copyright : Seatronics Ltd http://www.seatronics-group.com/
info@seatronics-group.com http://www.scantron.ltd.uk/

Textes des communications

30 novembre - 1er décembre 2000
Centre de congrès Le Quartz - Brest

ORGANISATION
Ifremer - Centre de Brest
G2RA
Centre de Congrès - Le Quartz

SEA TECH WEEK BREST 2000

G2RA

Ifremer

MÉTHODES DE DÉCONVOLUTION ET APPLICATION A DES DONNÉES ACOUSTIQUES.

S. Gautier, M. Holschneider, G. Saracco

Géosciences Rennes, FRE 6118, Université de Rennes I, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex

RESUME.

Nous proposons une méthode de déconvolution pour corriger les signaux enregistrés des distorsions provoquées par les appareils de mesure. L'approche s'attache, dans un premier temps, à caractériser l'ensemble des effets de la chaîne d'acquisition par un filtre instrumental global. La construction du filtre expérimental est réalisé grâce à une famille de signaux émis en nombre fini et à des fréquences différentes. La connaissance du filtre instrumental permet ensuite la déconvolution des signaux reçus. Cette méthode de caractérisation est appliquée à des données enregistrées en transmission et en réflexion dans une cuve acoustique. Nous avons ainsi pu construire le filtre instrumental global associé au dispositif expérimental mis en place. Les résultats de la déconvolution montrent que le signal d'entrée est correctement reconstruit à partir du signal de sortie et du filtre instrumental global.

ABSTRACT.

We propose a method of deconvolution to correct recorded signals from distortions due to the experimental devices. In a first time, the approach deals with the construction of an experimental global filter which characterizes the effects of the acquisition system. The built of the experimental filter is realised thanks to a family of signals emitted in a finite number and at different frequencies. The knowledge of the instrumental filter allows the deconvolution of recorded signals. This method of characterization is applied to transmitted and reflected signals recorded in an acoustic tank. We could construct the global instrumental filter associated with the experimental device. The results of the deconvolution show that the source signal is correctly rebuilt from the recorded signal and the instrumental global filter.

1. Introduction

Un signal reçu *s(t)* à l'aide d'une chaîne d'acquisition après propagation dans un milieu s'exprime comme la convolution du signal émis *e(t)* avec deux filtres que sont le filtre instrumental *Finst* lié aux instruments de mesure et la réponse impulsionnelle du milieu *m(t)*

$$s(t) = (Finst * m * e)(t).$$

Le filtre instrumental lié à l'ensemble des appareils de mesure perturbe les signaux enregistrés. La distorsion des signaux par ce filtre instrumental rend difficile l'étude et l'interprétation des phénomènes issus de la propagation dans le milieu. Afin de s'affranchir de cette perturbation, il convient d'éliminer les effets de la chaîne d'acquisition dans les données à l'aide d'une méthode de déconvolution qui restaure le signal à partir du signal de sortie *s(t)*

$$s'(t) = (m * e)(t).$$

La déconvolution est un problème récurrent en physique et en géophysique ([3], [4]). De nombreuses méthodes ont été développées en géophysique ([1], [2], [6], [7], [8], [9], [10], [12]) et notamment dans le domaine de la sismique où il s'agit de rendre le sismogramme le plus simple possible malgré la distorsion subie par les signaux. L'objectif est d'améliorer la connaissance de la fonction de réflectivité du milieu étudié en éliminant les échos du signal émis sur les différentes discontinuités. Une majorité des méthodes développées utilise un filtre linéaire qui, appliqué à la sortie, fournit une estimation du signal d'entrée. Ce filtre est déterminé par des calculs d'erreurs entre le signal d'entrée et le signal d'entrée estimé. La méthode la plus robuste est la méthode de Wiener-Levinsion qui détermine le filtre par une minimisation du calcul d'erreur au sens des moindres carrés ([5], [8]).

Dans notre cas, la réponse instrumentale n'est pas connue et, par conséquent, la déconvolution n'est pas systématique. L'approche que nous présentons ici consiste à construire dans un premier temps le filtre instrumental avant d'appliquer son inverse aux signaux enregistrés [11].

Cette méthode a été appliquée dans le cas de signaux enregistrés en transmission puis en réflexion dans une cuve océanique. Nous vous présentons la méthode et les résultats expérimentaux issus des données enregistrées en cuve océanique.

2. Dispositif expérimental et position du problème.

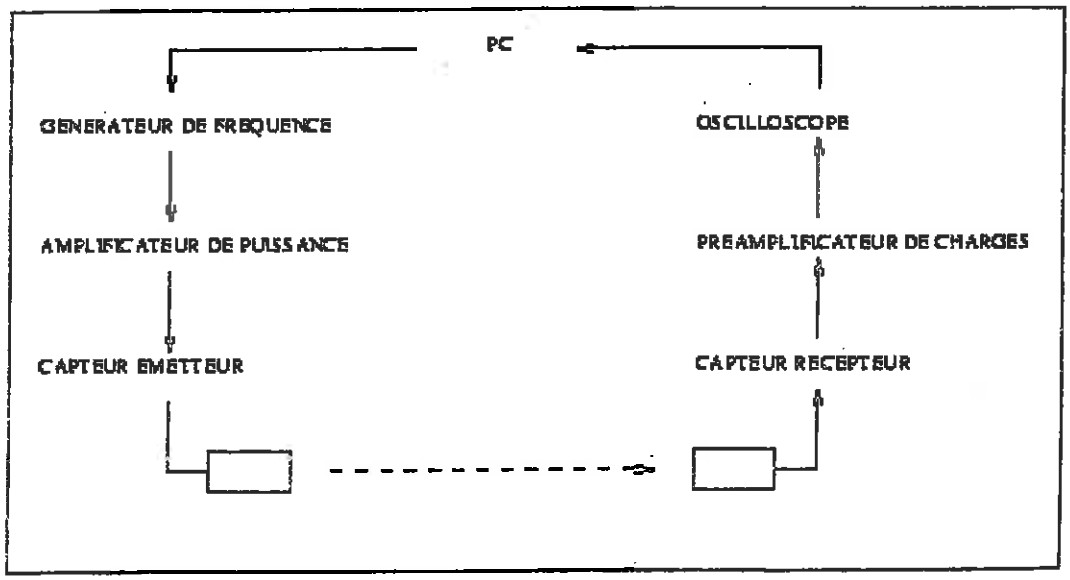


Figure 1 : Dispositif expérimental en cuve acoustique.

La figure 1 présente le dispositif expérimental utilisé pour enregistrer des données en cuve acoustique.

Le signal source, programmé dans un ordinateur, est discrétisé par le générateur de fréquences. Le signal source discrétisé est amplifié via un amplificateur de puissance aux gains réglables avant d'être transmis pour l'émission. Les capteurs utilisés sont des transducteurs plans directionnels à céramique piézoélectrique. Les deux transducteurs sont positionnés l'un en face de l'autre dans la cuve et sont séparés d'une distance *d* telle qu'ils se situent dans le champ lointain. L'un des capteurs émet le pulse et l'autre enregistre le signal transmis après propagation dans l'eau. Il est ensuite conditionné et amplifié par un préamplificateur de charges dont les gains sont également réglables. Le signal de sortie ainsi obtenu est transmis à un oscilloscope numérique qui recueille les données. L'oscilloscope a de plus la capacité de réaliser une moyenne des traces obtenues pour un même signal source émis avant que le résultat ne soit stocké dans l'ordinateur.

La réponse instrumentale *m(t)* du milieu de propagation présent dans le dispositif expérimental s'approche d'une impulsion idéale:

$$m(t) = a\delta(t-b).$$

Le milieu de propagation est donc seulement responsable d'un déphasage et d'une atténuation due au parcours effectué entre les deux capteurs. De plus, les paramètres d'acquisition (fréquences d'échantillonnage, gains d'amplification et de préamplification,...) sont identiques quelque soit la fréquence du signal émis. Par conséquent, l'ensemble des distorsions subies par le signal transmis est uniquement du au filtre instrumental global qui réunit les effets de tous les appareils de mesures. L'importance des perturbations souligne la nécessité de s'affranchir des effets de la chaîne d'acquisition (figure 2).

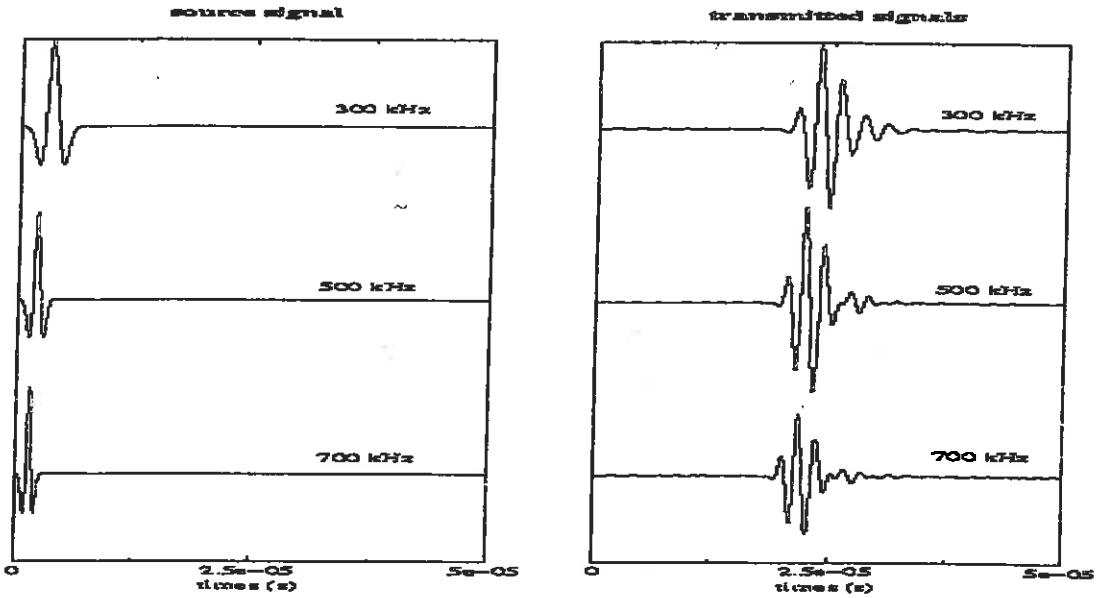


Figure 2 : Comparaison entre les signaux sources (à gauche) et les signaux transmis (à droite).

3. Présentation de la méthode.

La méthode consiste à calculer le filtre du dispositif expérimental qui caractérise l'action de la chaîne d'acquisition sur le signal émis avant d'en retirer les effets dans les signaux reçus.

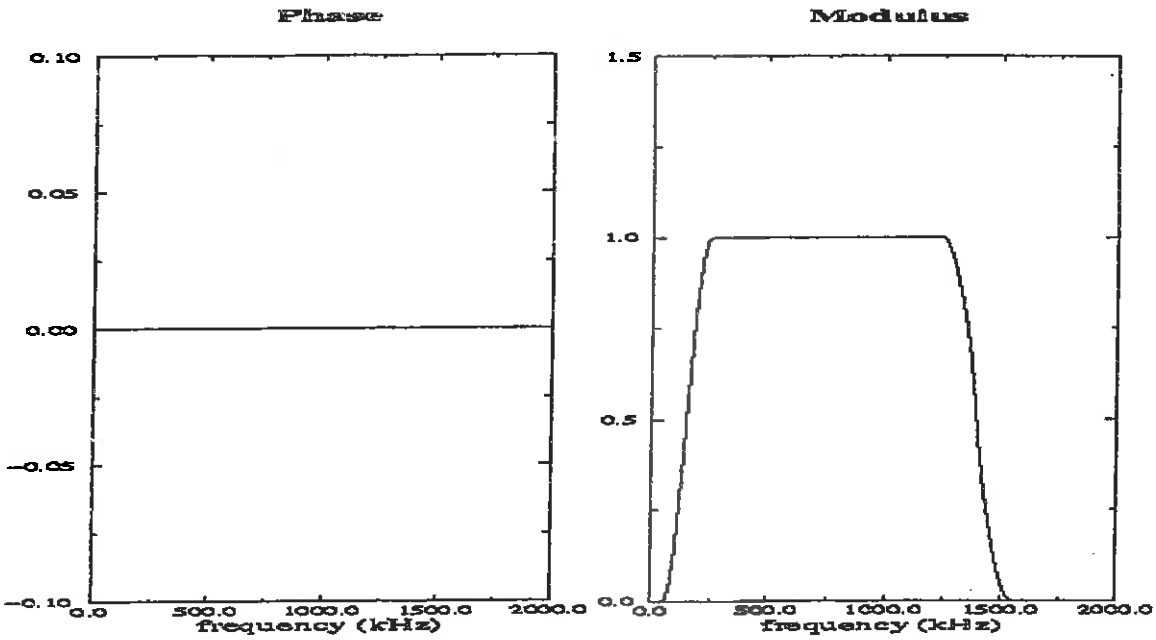


Figure 3 : Phase et module de la fonction $\hat{\chi}(u)$ utilisée dans les calculs des filtres individuels.

Le filtre instrumental est construit en émettant un nombre fini de signaux appartenant à une même famille. Ces signaux sources $e_n(t)$ sont émis à différentes fréquences n au cours des expériences telles que l'espace fréquentiel correspondant à la bande passante du capteur utilisé soit correctement couvert. Les signaux sources $e_n(t)$ sont parfaitement définis et nous disposons des signaux reçus $s_n(t)$ enregistrés par l'ensemble du dispositif expérimental après propagation dans l'eau.

La construction du filtre expérimental repose sur le calcul d'une famille de filtres individuels $h_n(t)$ définis tels que:

$$\sum_n (h_n * e_n)(t) = \chi(t)$$

où $\chi(t)$ est une fonction connue que l'on se fixe.

Le calcul des filtres individuels h_n est réalisé dans le domaine fréquentiel de la manière suivante:

$$\hat{h}_n(u) = \frac{\hat{e}^*_n(u)}{\sum_m \left|\hat{e}_m(u)\right|^2} \times \hat{\chi}(u)$$

où $\hat{e}^*_n(u)$ est le conjugué complexe de $\hat{e}_n(u)$. Les filtres individuels $\hat{h}_n$ sont définis dans une zone fréquentielle fixée par la largeur de la fonction $\hat{\chi}(u)$ et sont également normalisés par l'énergie totale émise à toutes les fréquences au cours des expériences.

Il est important de choisir convenablement la fonction $\hat{\chi}(u)$ qui joue un rôle important dans la stabilité des calculs. Pour effectuer ce choix, on peut étudier le comportement du rapport:

$$\frac{\hat{\chi}(u)}{\sum_m \left|\hat{e}_m(u)\right|^2}$$

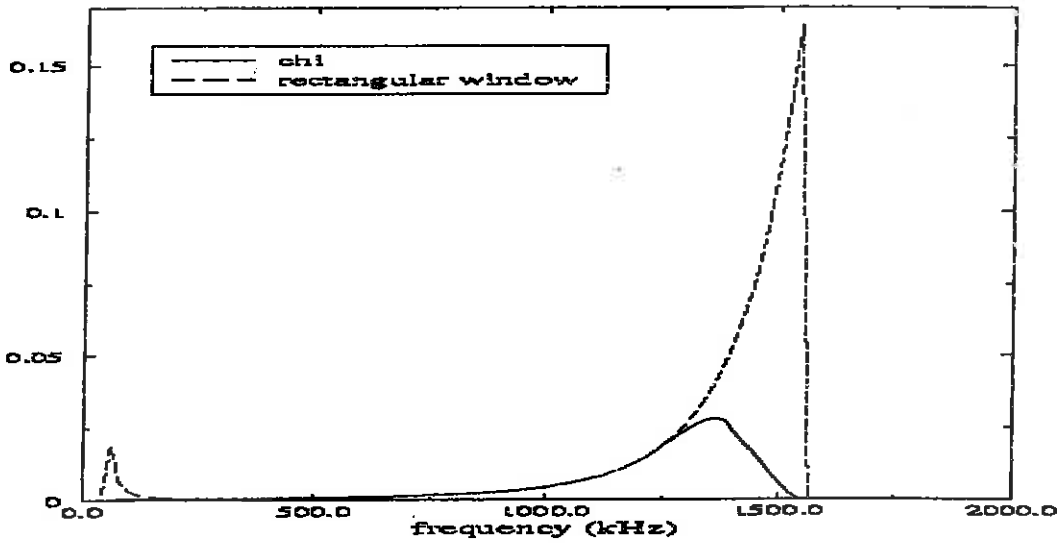


Figure 4 : Rapport des modules : $\dfrac{\hat{W}(u)}{\sum_m \left|\hat{e}_m(u)\right|^2}$ *pour deux types de fonctions* $\hat{W}(u)$ *: la fonction* $\hat{\chi}(u)$ *et une fonction porte de même largeur. Le comportement régulier du rapport obtenu avec la fonction* $\hat{\chi}(u)$ *indique que les calculs seront plus stables qu'avec une fonction porte.*

Un comportement régulier et doux de ce rapport permet la limitation des instabilités numériques lorsque le dénominateur tend vers zéro. Ceci conduit à choisir une fonction $\hat{\chi}(u)$ qui approxime au mieux l'allure du dénominateur tout en respectant cette contrainte.

Le filtre du dispositif expérimental est obtenu en convoluant les filtres individuels avec les signaux reçus et en sommant le résultat de ces convolutions pour toutes les fréquences n:

$$Finst(t) = \sum_n (h_n * s_n)(t).$$

Il est possible de valider le choix de la fonction $\hat{\chi}(u)$ en remplaçant les signaux reçus par les signaux émis dans le calcul du filtre global. Le filtre obtenu est égal à la fonction $\hat{\chi}(u)$ qui est correctement reconstruite si elle a été choisie de manière adéquate. Cette vérification permet de s'assurer de la précision avec laquelle le filtre instrumental global est construit.

Après avoir construit le filtre instrumental, l'effet de la chaîne d'acquisition est ensuite éliminé en convolant les signaux reçus par l'inverse du filtre instrumental:

$$s_n^d(t) = (Finv * s_n)(t)$$

avec

$$\hat{Finv}(u) = \frac{\hat{\chi}'(u)}{\hat{Finst}(u)}$$

où $\hat{\chi}'(u)$ est une fonction ayant la même allure que $\hat{\chi}(u)$ mais qui est plus étroite afin d'éviter les

instabilités numériques liées aux divisions par zéro. Le signal théorique obtenu par cette méthode de déconvolution est égal au signal émis convolué par la fonction $\chi'(t)$

$$s_n^d(t) = (\chi' * s_n)(t).$$

La méthode présentée a un caractère général puisqu'elle est indépendante de la nature des signaux émis ainsi que du choix du pas d'échantillonnage des fréquences émises (pas linéaire, pas logarithmique, ...).

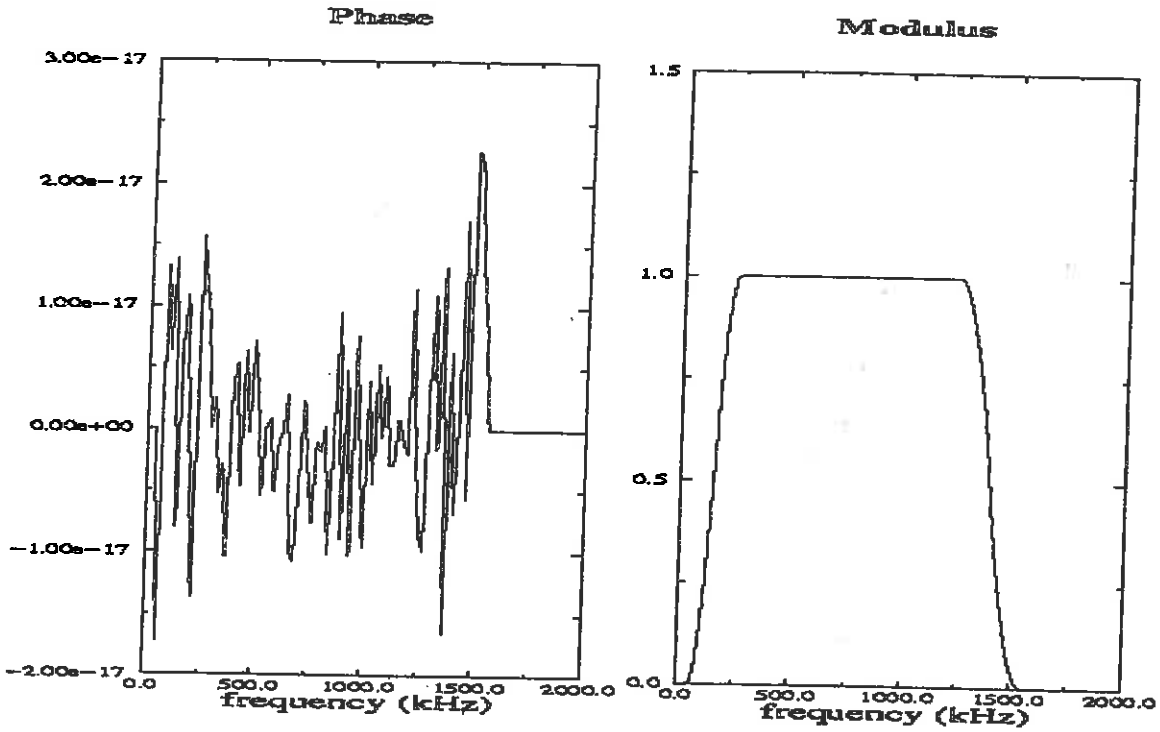


Figure 5: Phase et module de la fonction $\hat{\chi}(u)$ reconstruite en utilisant les signaux sources à la place des signaux reçus dans le calcul du filtre instrumental global.

4. Application à des données acoustiques.

Les expériences en transmission sont réalisées avec un couple de transducteurs plans directionnels de fréquence centrale 500 kHz. Nous avons choisi une famille d'ondelettes comme signaux sources. Le signal émis est un ricker:

$$r(t) = (1 - 2 \times (\pi \times f \times t)^2)\exp(-\pi \times f \times t)$$

où la fréquence f varie entre 200 kHz et 800 kHz par pas de 20 kHz. Un ricker est émis à chacune de ces fréquences dont l'ensemble couvre la bande passante du capteur utilisé. La figure 3 représente la fonction $\hat{\chi}(u)$ que nous avons utilisé pour calculer les filtres individuels $\hat{h}_n$. La forme adaptée de la fonction $\hat{\chi}(u)$ nous permet de limiter les instabilités numériques dans les calculs des filtres individuels $\hat{h}_n$ (figure 4). Nous vérifions de plus, que la fonction $\hat{\chi}(u)$ est correctement reconstruite en substituant les signaux reçus par la famille de signaux sources dans le calcul du filtre global (figure 5). Ceci montre que le filtre instrumental est calculé avec précision.

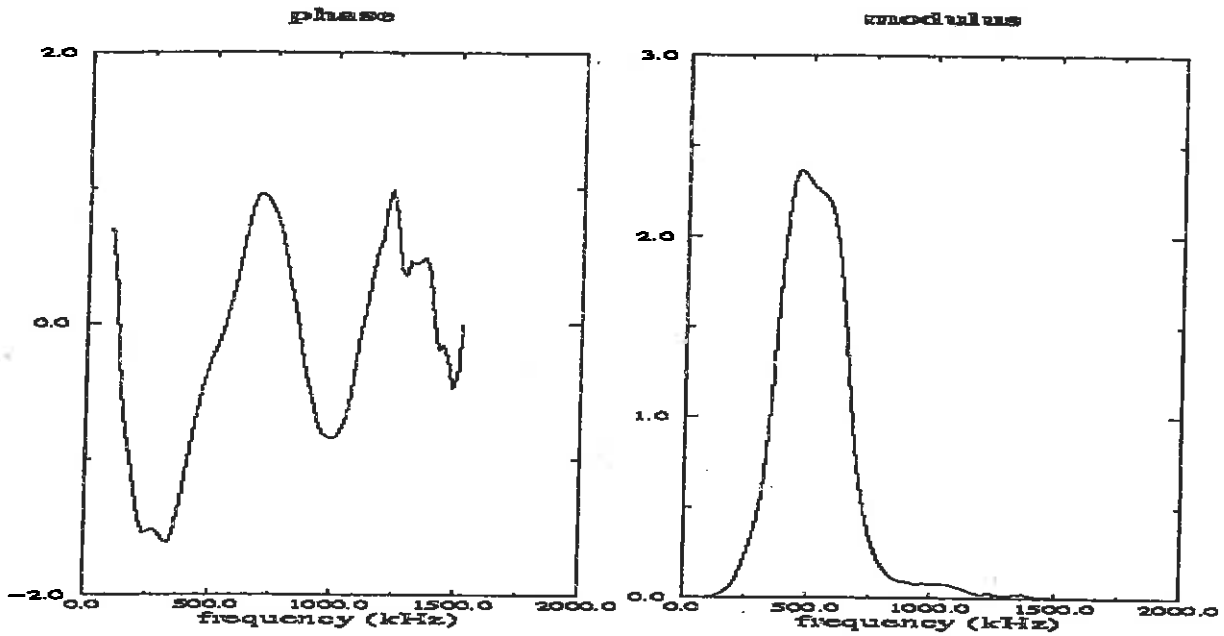


Figure 6 : Phase et module du filtre instrumental global.

Le filtre instrumental construit à l'aide de cette méthode et des signaux enregistrés en cuve océanique est représenté figure 6. Nous appliquons ensuite le filtre inverse (figure 7) aux données reçues afin d'éliminer les effets provenant de la chaîne d'acquisition.
Nous remarquons que les signaux obtenus expérimentalement sont identiques aux signaux théoriques excepté quelques oscillations hautes fréquences. Ces oscillations hautes fréquences peuvent s'expliquer par la convolution des signaux reçus avec le filtre inverse dont le module a son maximum aux même hautes fréquences. Ce maximum est issu d'un compromis entre l'élimination

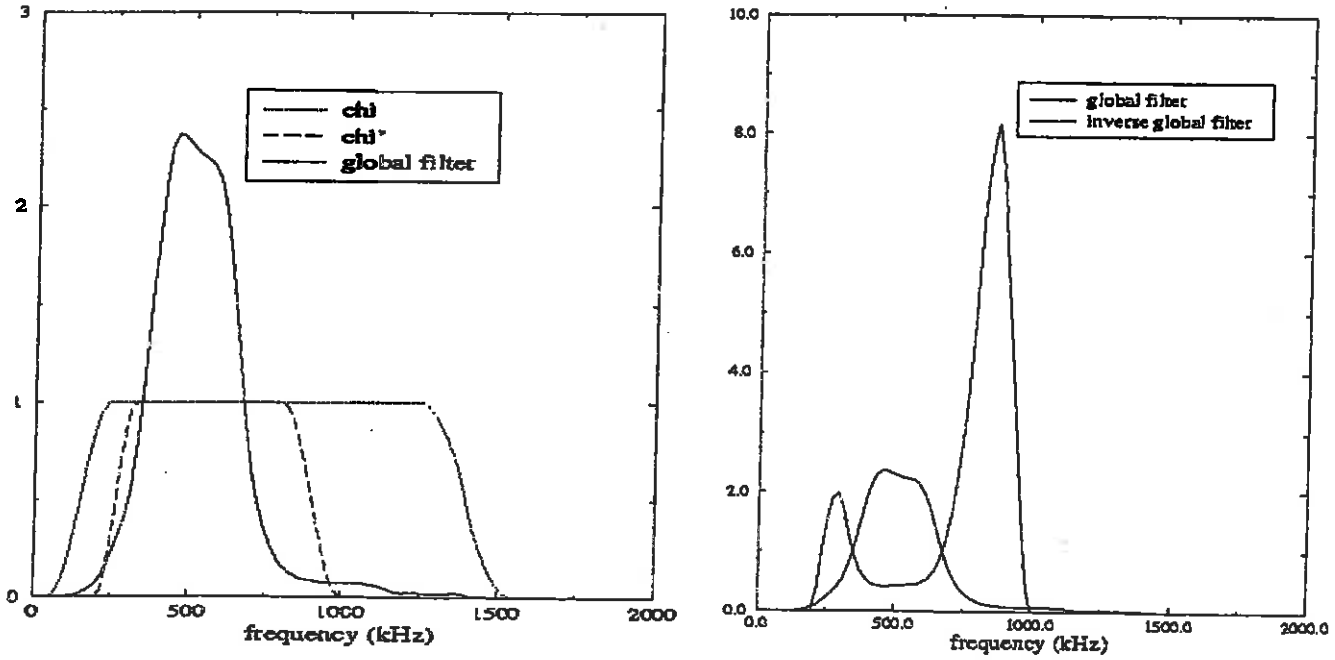


Figure 7 : Module des fonctions et comparé au module du filtre global (à droite). Module du filtre instrumental inverse (à gauche).

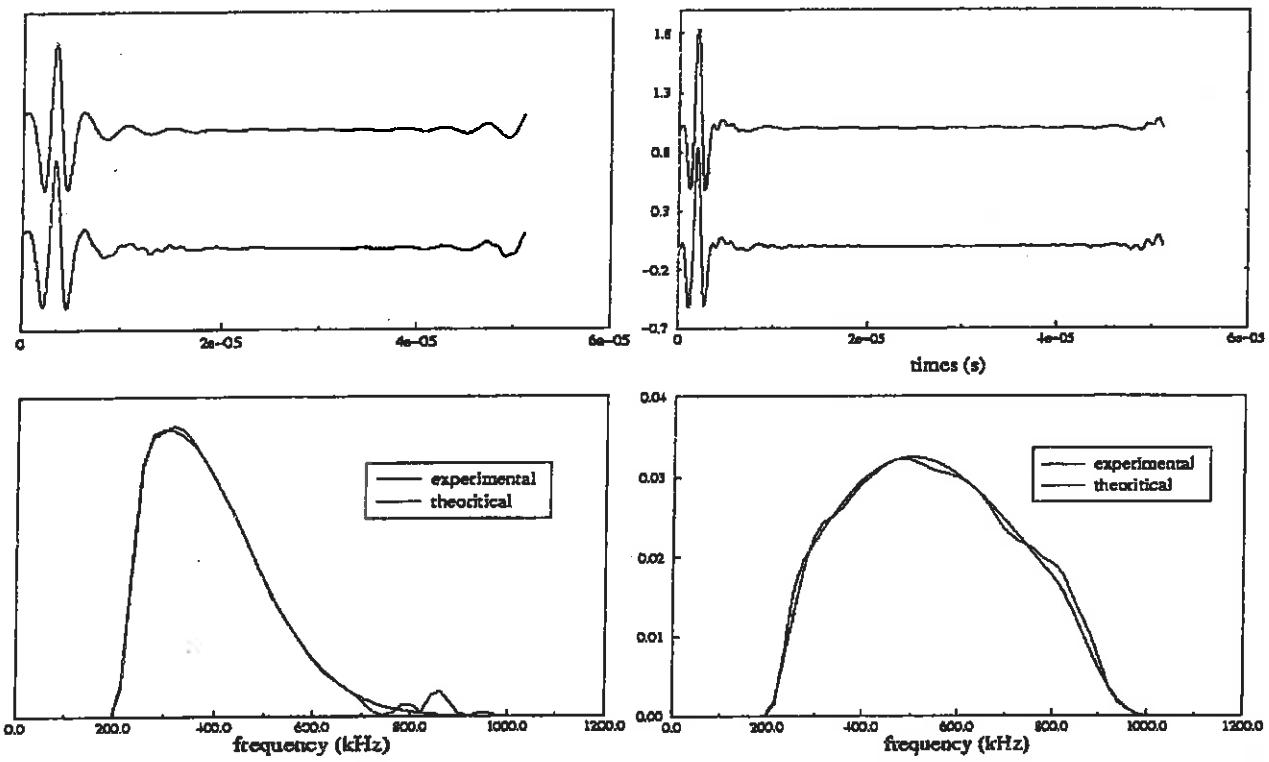


Figure 8 : Résultats de la convolution des signaux enregistrés avec le filtre instrumental inverse dans l'espace temporel (en haut) et dans l'espace fréquentiel (en bas) pour deux fréquences: f=300 kHz à gauche et f=500 kHz à droite. Comparaison avec les signaux théoriques.

de ces oscillations par le choix d'une fonction $\chi'(t)$ plus étroite et une bonne reconstruction du signal émis en gardant suffisamment d'informations dans l'espace fréquentiel.

Nous avons également testé cette méthode dans le cas d'un dispositif expérimental en réflexion. Des données ont été enregistrées dans le cas d'une réflexion sur une paroi parfaitement réfléchissante (plaque de duralumin). Nous avons utilisé les mêmes capteurs qui ne sont plus positionnés l'un en face de l'autre dans la cuve mais dans une géométrie leur permettant de mesurer le champ rétrodiffusé. Le même nombre de rickers a été émis aux mêmes fréquences que dans l'expérience précédentes.

La construction du filtre s'est effectuée d'une manière similaire au cas de la transmission (figure 9). Les signaux théoriques sont correctement reconstruit par la déconvolution des signaux reçus ce qui montre que la méthode peut être utilisée pour des données en réflexion (figure 10). On remarque toutefois que les écarts entre signaux expérimentaux et signaux théoriques sont plus important qu'en transmission. Ces oscillations sont probablement dues à l'excitation de modes propres de la plaque ce qui permet d'expliquer la présence de minimums locaux dans la représentation du module du filtre.

La faible différence entre les signaux reconstruits expérimentalement et les signaux théoriques montre que la méthode de déconvolution est efficace. La bonne cohérence des résultats quelque soit la fréquence émise, même pour des fréquences éloignées de la fréquence centrale du capteur, et également quelque soit la géométrie du dispositif d'acquisition met en évidence le caractère robuste de la méthode.

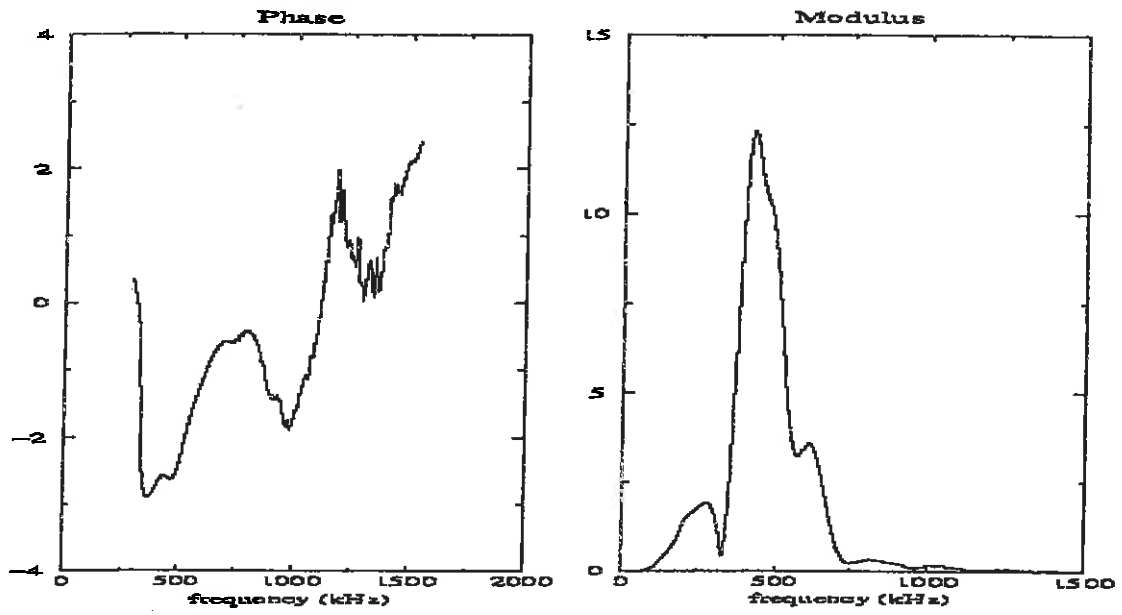


Figure 9 : Phase et module du filtre instrumental global dans le cas d'un dispositif expérimental en réflexion.

5. Conclusion.

Nous venons de présenter une méthode de déconvolution qui consiste en la construction du filtre instrumental lié à l'ensemble des appareils de mesure.

La construction du filtre instrumental nécessite l'acquisition d'une famille de signaux mais cette acquisition est peu contraignante. En effet, le dispositif expérimental est simple à mettre en place et l'on dispose d'une certaine liberté dans le choix du signal source ainsi que dans le choix du nombre de signaux à émettre et du pas d'échantillonnage des fréquences d'émission.

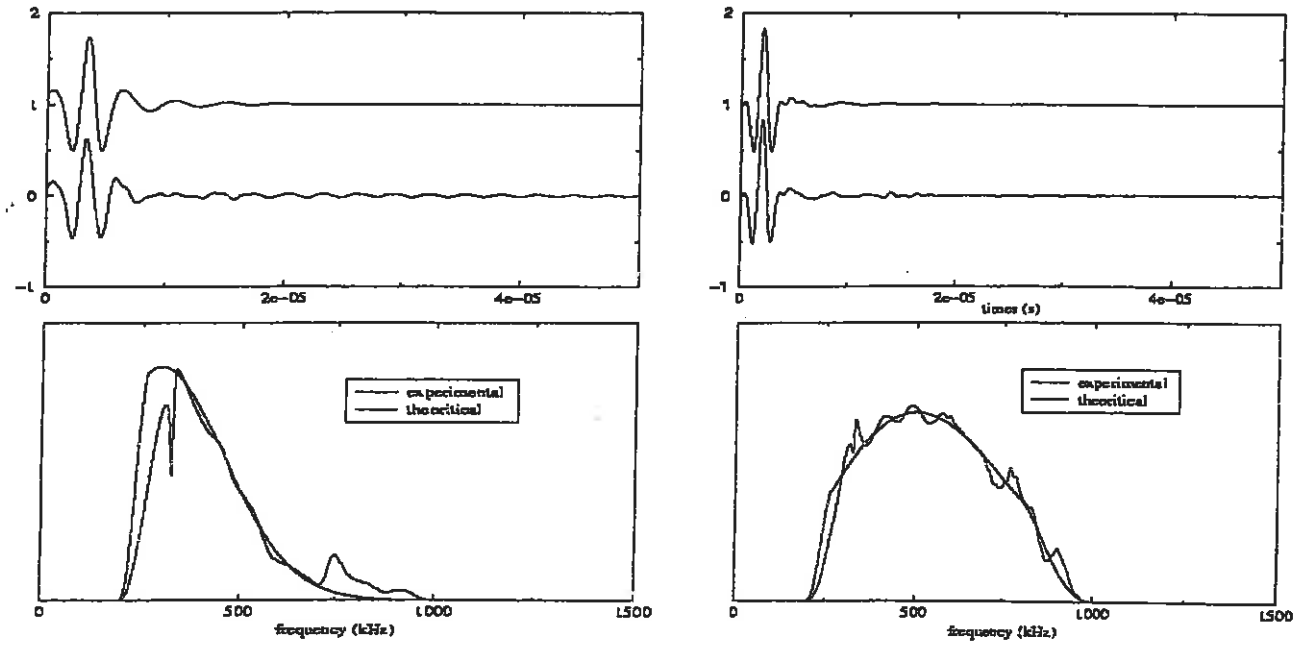


Figure 10 : Résultat de la déconvolution pour des signaux réfléchis : f=300 kHz à gauche et f=500 kHz à gauche.

Le calcul numérique du filtre à l'aide des signaux sources et des données enregistrées est également simple à mettre en œuvre. Il est toutefois important de choisir convenablement la fonction $\chi(t)$ car le calcul du filtres individuels h_n est très sensible à l'allure et à la largeur de cette fenêtre.

L'application de cette méthode à des données acoustiques montre que la méthode est performante et robuste quelque soit la géométrie du dispositif d'acquisition. Les distorsions due à la chaîne d'acquisition sont convenablement éliminées des signaux quelque soit la fréquence émise.

Cette efficacité va permettre l'étude des phénomènes issus de la propagation d'un signal dans un milieu autre que l'eau ou pour des objets dans la cuve océanique sans être gêné par l'effet de la chaîne d'acquisition.

Références.

1. F. Baudin, Nouvelles méthodes d'analyse pour la sismologie solaire, Thèse de l'Université de Paris XI/ Orsay (1993).
2. A. J. Berkhout, Least-squares inverse filtering and wavelet deconvolution, Geophysics **42**, 1369-1383 (1977).
3. Y. G. Biraud, Les méthodes de déconvolution et leurs limitations fondamentales, Revue de Physique Appliquée **11**, 203-214 (1976).
4. G. Demoment, Déconvolution des signaux, Cours École Supérieure d'Électricité (1992).
5. A. Jurkevics, R. Wiggins, A critic of seismic deconvolution methods, Geophysics **49**, 2109-2116 (1984).
6. N. Ott, H. G. Meder, The Kalman filter as prediction error filter, Geophysical Prospecting **20**, 549-560 (1972).
7. K. L. Peacock, S. Treitel, Predicitive deconvolution: theory and practice, Geophysics **34**, 155-169 (1969).
8. E. A. Robinson, S. Treitel, Principles of digital Wiener filtering, Geophysical Prospecting **15**, 311-333 (1967).
9. S. Treitel, L. R. Lines, Linear inverse theory and deconvolution, Geophysics **47**., 1153-1159, (1982).
10. T. J. Ulrych, Application of homomorphic deconvolution to seismology, Geophysics **36**, 650-660 (1971).
11. H. P. Valero, Endoscopie sismique, Thèse de l'Institut de Physique du Globe de Paris (1997).
12. R. Wiggins, Minimum entropy deconvolution, Geoexploration **16**, 21-35 (1978).