

# *L* *a calibration d'antenne*

---

## Amélioration des performances en détection et localisation de sources en ASM en utilisant la connaissance de la forme d'antenne.

---

### *Improvement of Source Detection and Localization in Underwater Acoustic Performances Including the Shape of the Array*

par S. BOURENNANE, B. FAURE, P. GOUNON

CEPHAG ENSIEG (URA 346)  
BP 46 - 38402 St Martin d'Hères Cedex.

#### Résumé

Nous montrons dans cette étude qu'il est possible d'améliorer de façon sensible les performances en détection et localisation de sources sonores en acoustique sous-marine lorsque l'on connaît la déformation de l'antenne de réception. Ce travail a été réalisé en utilisant des données expérimentales obtenues lors d'une campagne en mer.

**Mots clés :** Détection, localisation, acoustique sous-marine, antenne, données expérimentales.

#### Abstract

*With this study, in the case of the knowledge of the array deformation, we show the improvement of performance for detection and localization of sources in underwater acoustic. For this work, we use experimental data.*

**Key words :** Detection, localization, underwater acoustic, array, signal processing, experimental data.

## 1. Introduction

On s'intéresse dans cette étude à la détection et à la localisation de sources sonores dans le domaine de l'acoustique sous marine en utilisant une antenne longue tractée.

Si au cours d'une expérimentation il existe une source forte connue, on peut l'utiliser pour estimer la forme d'antenne. Cette information permet en effet de redonner à l'antenne son gain maximal en compensant les retards relatifs entre capteurs de manière à corriger la déformation de l'antenne.

Nous mettons ici en évidence l'intérêt de la connaissance de la forme d'antenne en chiffrant le gain du traitement. Pour cela nous avons comparé, le rapport signal sur bruit mesuré à la sortie de la formation de voies classique dans les deux cas suivant : a) sans connaître la forme de l'antenne, b) après avoir corrigé cette forme en compensant les retards des signaux reçus. Puis, nous

nous sommes intéressés à la localisation de sources secondaires rayonnantes dans le milieu de propagation en comparant les résultats obtenus pour ces deux conditions.

## 2. Présentation du contexte expérimental

L'étude repose sur une expérimentation en mer organisée par le CERDSM en mars 1985 [FAURE87], dans un contexte marin relativement calme. Deux bateaux suivent des routes à cap constant, faisant un angle de 45° entre elles. L'un tracte une antenne de type flûte sismique longue de 2400 m et constituée de 96 groupements de capteurs dont les centres de phase équidistants sont espacés de 25 m. Le réseau est immergé à 40 m de profondeur. Le deuxième bâtiment traîne une source sonore coopérative qui émet durant des séquences de 30 minutes, soit un signal monochromatique basse

fréquence, soit un peigne de raies, soit un signal large bande du type BPSK (Binary Phase Shift Keying).

La présence de cette source connue permet dans les différents cas, de connaître par mesure de retards relatifs le long des capteurs la déformation de l'antenne au cours du temps au rythme de quelques secondes. Cette information est alors utilisée pour améliorer les performances en détection et localisation.

### 3. Traitement des signaux expérimentaux

#### 3.1. AMÉLIORATION DES PERFORMANCES EN RAPPORT SIGNAL SUR BRUIT

Afin de chiffrer l'amélioration apportée par la connaissance de la forme de l'antenne, nous avons comparé le rapport signal sur bruit mesuré à la sortie de la formation de voies classique avec ou sans connaissance de la forme de l'antenne, dans les deux cas nous considérons la fréquence  $\nu$ , l'azimut de la source  $\theta$  et le déphasage entre capteur  $\varphi$  pour une antenne de  $N$  capteurs. Le schéma synoptique des traitements est schématisé sur la **figure 1**. Dans les deux cas, nous définissons le rapport signal sur bruit comme étant le rapport entre la puissance du signal observé en sortie de la formation de voies à la fréquence du signal émis (45 Hz par exemple) et la puissance moyenne du bruit mesurée au même instant sur une bande fréquentielle de 1 Hz dans le voisinage (de 43 à 44 Hz).

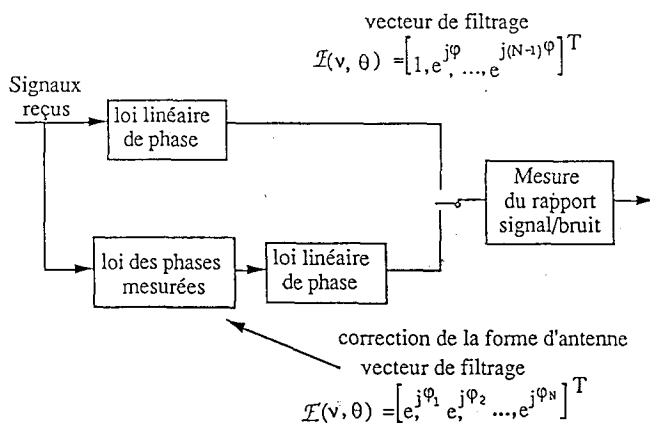


Figure 1. – Synoptique des traitements.

A titre d'information, pour l'exemple traité, la forme estimée de l'antenne dans le plan horizontal est présentée **figure 2**. Compte tenu des dimensions transversales des déformations vis-à-vis de la longueur de l'antenne, nous considérons que la longueur apparente de l'antenne est égale à 2400 m.

Pour une analyse spatiale comprise entre  $-3^\circ$  et  $10^\circ$ , la formation de voies directe conduit à un rapport signal sur bruit maximal de 34 dB. Par contre, si on effectue la formation de voies après avoir

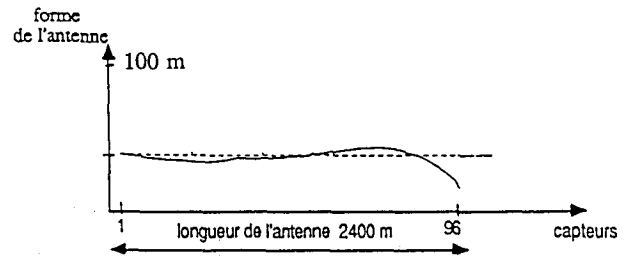


Figure 2 : Forme estimée de l'antenne.

compensé les retards entre capteurs (pour corriger la déformation de l'antenne), on obtient pour la même gamme d'analyse, un rapport signal sur bruit de 37 dB; cela est présenté sur la **figure 3**.

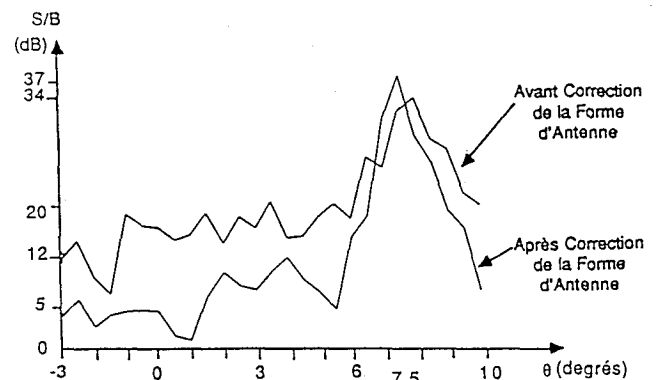


Figure 3. – Mesure du rapport signal sur bruit en fonction de l'azimut en utilisant la formation de voies ( $\nu = 45$  Hz).

Ce résultat a été obtenu alors que la distance de propagation est de 230 km (la formation de voies est effectuée sur les 96 capteurs de l'antenne) mesuré dans les mêmes conditions expérimentales que précédemment.

Nous constatons donc que la prise en compte de la forme de l'antenne conduit à une amélioration du rapport signal sur bruit, dans l'axe de la source, de 3 dB. Mais elle conduit également à une amélioration de la directivité de l'antenne. En effet, le lobe principal de directivité est plus étroit et de plus, le niveau des lobes secondaires est nettement abaissé.

Le gain de traitement est également très visible lorsque l'on exploite les signaux de type BPSK. En effet, lorsque l'on traite par intercorrélacion le signal reçu sur un capteur, la mesure du rapport signal sur bruit, pour l'exemple traité, est de 17 dB mesuré dans les mêmes conditions expérimentales que précédemment. Avec une antenne parfaite de 100 capteurs le gain global devrait être de  $17 + 20 = 37$  dB. Les résultats montrent (**figure 4**), que lorsqu'on réalise la sommation cohérente de tous les signaux reçus sans compensation de retard, en sortie du filtrage on mesure un rapport signal sur bruit de 9,2 dB. Par contre, si avant la sommation on tient compte de la déformation de l'antenne, le rapport signal sur bruit prend pour valeur 29,5 dB.

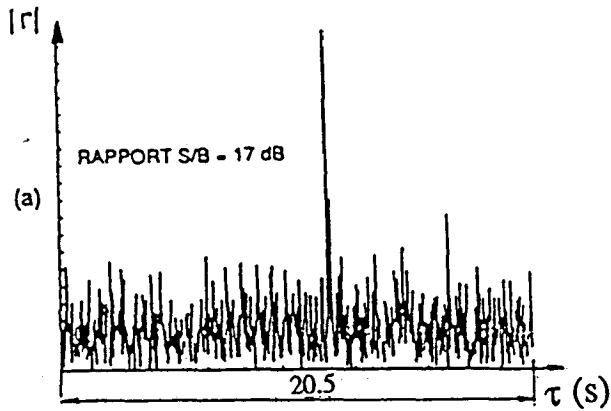


Figure 4a. – Rapport S/B pour une trace.

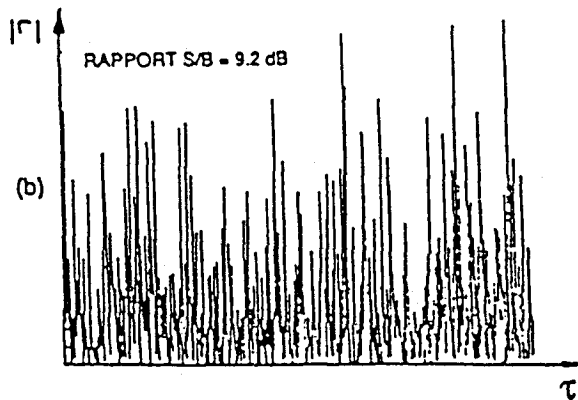


Figure 4b. – Rapport S/B antenne non corrigée.

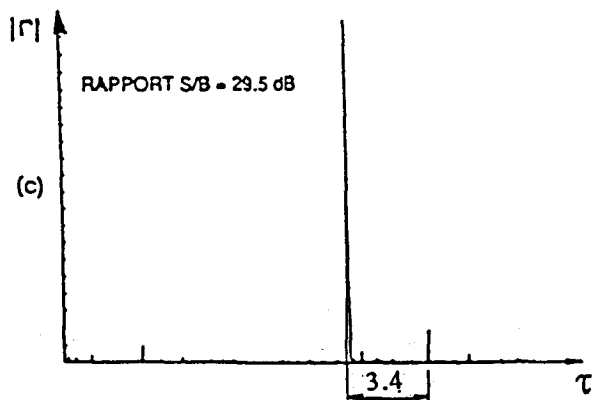


Figure 4c. – Rapport S/B antenne corrigée.

Figure 4. – Amélioration du rapport signal à bruit dans le cas d'émission BPSK lorsque l'on tient compte de la forme d'antenne.

Le gain de traitement apporté par la connaissance de la forme de l'antenne est alors significatif puisque l'on passe de 9,2 à 29,5 dB. Il est à noter cependant que la différence entre le gain obtenu et le gain théorique peut être due à l'estimation approchée de la forme d'antenne.

### 3.2. AMÉLIORATION DE LA LOCALISATION AVEC MODÈLE ONDE PLANE

#### 3.2.1. Méthode haute résolution

En appliquant la méthode de localisation haute résolution de type MUSIC sur les signaux reçus, (ou sur les signaux corrigés par la forme de l'antenne), nous avons estimé les angles d'arrivées des sources secondaires détectées dans des gammes de fréquence autres que la fréquence de la source coopérative. Les résultats obtenus pour  $\nu = 19$  Hz sont présentés sur les figures 5 et 6.

La figure 5 présente le résultat obtenu lors de l'analyse des signaux directement reçus.

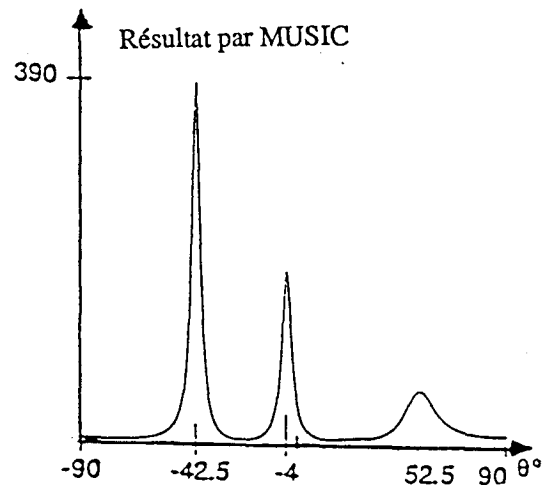


Figure 5. – Azimuts des sources avant correction d'antenne.

Sur la figure 6, nous avons effectué le même traitement mais après avoir corrigé les retards correspondant à la déformation de l'antenne.

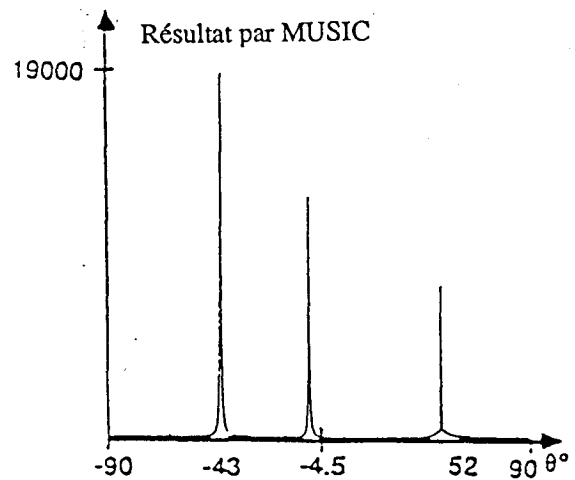


Figure 6. – Azimuts des sources après correction d'antenne.

Nous constatons une amélioration très nette de la directivité de l'antenne dans ce deuxième cas, et nous avons pu ainsi confirmer les résultats obtenus en les comparant à ceux donnés par la représentation de la Transformée de Fourier bidimensionnelle (TF2D).

### 3.2.2. Méthode de la transformation de Fourier bidimensionnelle

Afin d'avoir une image globale tridimensionnelle relative à l'intensité des différentes sources situées dans les plans spatial et fréquentiel, nous avons utilisé la représentation de la transformée de Fourier bidimensionnelle. Cela a été possible par le fait que l'antenne comporte un nombre important de capteurs.

#### a) Rappel sur la transformée de Fourier en fréquences spatiales et fréquences temporelles :

Soit  $g(x, t)$  ayant pour transformée de Fourier bidimensionnelle (TF2D)  $G(\nu_x, \nu_t)$  définie par :

$$G(\nu_x, \nu_t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} g(x, t) e^{-2j\pi(x\nu_x + t\nu_t)} dx dt$$

où  $\nu_x$  est la fréquence spatiale et  $\nu_t$  est la fréquence temporelle.

Pour une onde plane se propageant à la vitesse apparente  $V$  sur l'antenne :

$$g(x, t) = e(t - \frac{x}{V})$$

La TF2D de  $g(x, t)$  s'écrit :

$$G(\nu_x, \nu_t) = \delta(\nu_t - V_a \nu_x) \cdot E(\nu_t)$$

où  $E(\nu_t) = TF[e(t)]$  est la transformée de Fourier du signal émis.

Le spectre d'une onde plane s'organise donc dans le plan des fréquences spatiales-fréquences temporelles le long d'une droite de pente  $\frac{1}{V}$ . Il est donc possible en observant le spectre bidimensionnel des signaux reçus de retrouver le spectre de l'onde initiale ainsi que sa vitesse apparente sur le réseau. On peut ainsi retrouver la direction de la source. Cette propriété a été utilisée antérieurement dans l'étude de signaux d'acoustique aérienne [Beroujon75]. Notons qu'elle est couramment utilisée en traitement de signaux sismiques [Clement73], [March83] afin de déterminer la vitesse des ondes et d'éliminer certaines d'entre elles.

Nous présentons **figure 7** l'image de la répartition de l'énergie reçue dans le plan des fréquences spatiales et temporelles, obtenue à l'aide de la transformation de Fourier bidimensionnelle.

Sur la **figure 8**, nous avons corrigé les signaux reçus à la fois par la forme de l'antenne et par l'azimut moyen qui consiste à ramener les sources sur la normale au réseau avant de calculer le spectre bidimensionnel.

Sur la **figure 7**, nous constatons pour les fréquences émises (45, 65, 82 Hz) une dispersion spatiale de l'énergie du signal reçu importante (0°, 8°), par contre sur la **figure 8** nous voyons que l'énergie n'est présente que dans une seule direction 0°.

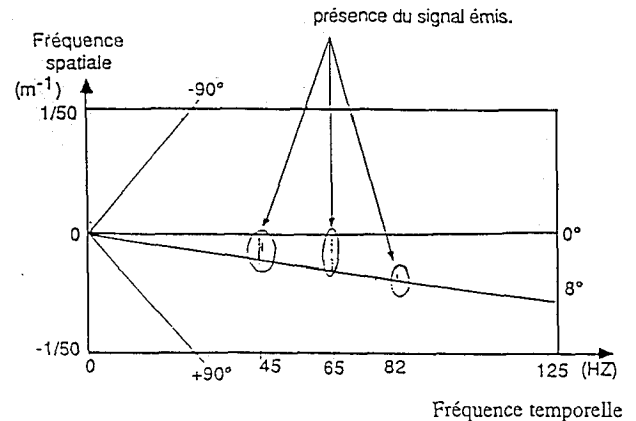


Figure 7. – Spectre bidimensionnel des signaux reçus sur l'antenne.

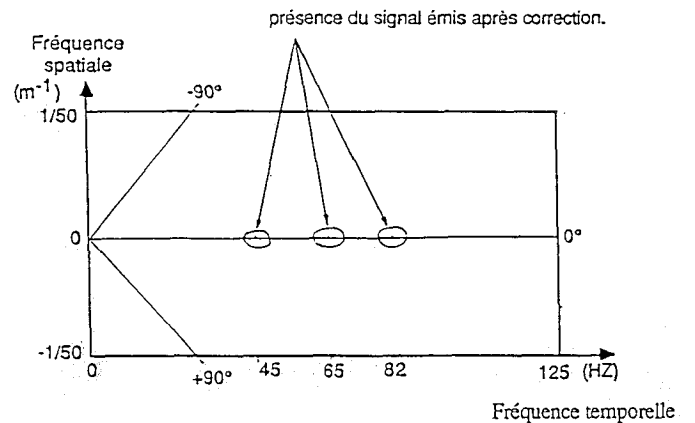


Figure 8. – Spectre 2D obtenu après correction de la forme de l'antenne et de l'azimut moyen.

On note aussi la rotation d'ensemble du spectre due à la correction du plan d'onde moyen.

#### b) Analyse autour des fréquences émises

En effectuant une coupe à une fréquence temporelle, on obtient la répartition azimutale de l'énergie à cette fréquence. Pour l'exemple étudié, nous avons représenté **figure 9** des coupes du spectre bidimensionnel aux fréquences 45 et 65 Hz. Les figures **9a** et **9b** correspondent aux coupes avant compensation de la forme de l'antenne. Les figures **9c** et **9d** montrent les résultats obtenus après que l'on ait corrigé la déformation de l'antenne.

L'influence de la correction est tout à fait visible comme sur les figures 7 et 8 présentées précédemment.

## 4. Conclusion

L'objectif principal de cette étude, utilisant des signaux expérimentaux, est de mettre en évidence l'intérêt de la connaissance de la forme d'antenne dans le cas d'une antenne longue, souple et tractée. Pour cela, nous avons utilisé deux méthodes de traitement

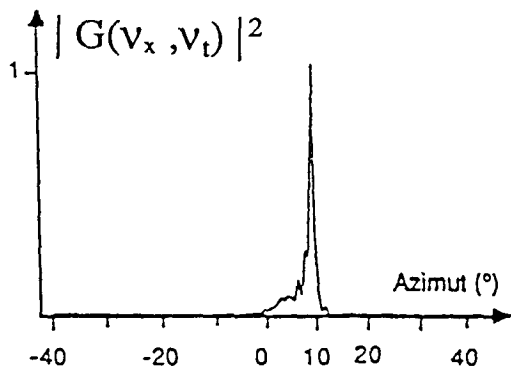


Figure 9a. - Coupe du spectre 2D à  $\nu_t = 45$  Hz avant correction.

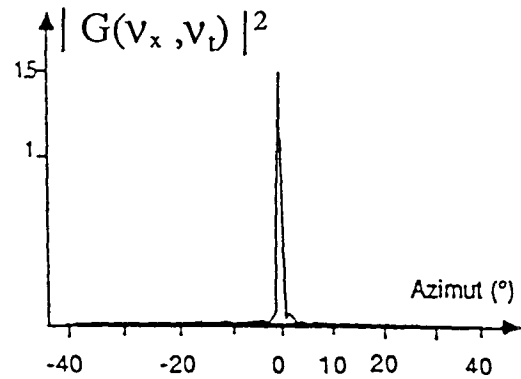


Figure 9b. - Coupe du spectre 2D à  $\nu_t = 45$  Hz après correction.

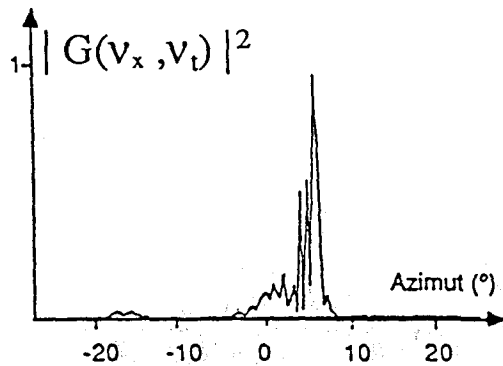


Figure 9c. - Coupe du spectre 2D à  $\nu_t = 65$  Hz avant correction.

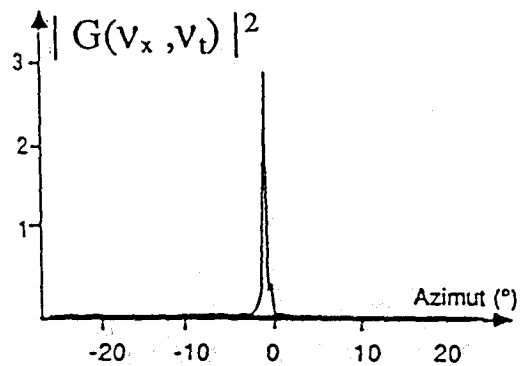


Figure 9d. - Coupe du spectre 2D à  $\nu_t = 65$  Hz après correction.

différentes. Tout d'abord les méthodes de traitement d'antenne de haute résolution, puis une présentation basée sur la transformée de Fourier bidimensionnelle. Les deux méthodes montrent l'intérêt de la connaissance de la forme d'antenne. En effet, lorsque l'on utilise les signaux reçus, corrigés de la forme d'antenne dans les directions de visées, nous avons constaté :

1) un rapport signal sur bruit de 37 dB, alors que la formation de voies classique sur les signaux non corrigés conduisait à un rapport signal sur bruit de 34 dB.

2) La dispersion spatiale de l'énergie du signal reçu visible sur le spectre bidimensionnel est beaucoup plus faible lorsque l'on effectue la correction de la forme d'antenne ce qui s'interprète par une amélioration de la directivité de l'antenne.

Toutes ces améliorations sont pleinement justifiées par le fait qu'après avoir corrigé les signaux reçus par la forme d'antenne, les signaux obtenus sont remis en phase sur toute l'antenne. Le modèle choisi qui est l'antenne rectiligne, est alors vérifié.

La méthode reste valable dans le cas d'une antenne de géométrie de référence quelconque, on utilise alors comme référence non

pas une distribution linéaire de phase le long de l'antenne mais une distribution tenant compte de cette forme géométrique.

## BIBLIOGRAPHIE

- [BEROUJON 75] M. BEROUJON, B. ESCUDIE, L. FRIN, HELLIN, Traitement spatio-temporel en acoustique aérienne, imagerie spatiale et fréquentielle des bruiteurs. *Colloque national sur le traitement du signal et ses applications*, p. 521-529, Nice, juin 1975.
- [BOURENNANE 89] S. BOURENNANE, B. FAURE, J.L. LACOUME, P. GOUNON, Localisation de sources avec estimation de la forme d'antenne. *Revue Traitement du signal*, Vol. 6, n°1, p. 27-35, 1989.
- [BOURENNANE 90] S. BOURENNANE, Traitement d'antenne à large bande de fréquence. Thèse de l'INPG, Grenoble, mai 1990.
- [CLEMENT 73] W.G. CLEMENT, Basic principle of two dimensional digital filtering. *Geophysical prospecting*, n°21, p. 125-145, 1973.
- [FAURE 87] B. FAURE, S. BOURENNANE, J.L. LACOUME, Analyse temporelle et spatiale de l'onde reçue sur une grande antenne à longue distance en acoustique sous marine. *Revue Traitement du signal*, Vol. 4, n°4, p. 341-352, 1987.
- [MARCH 83] D.W. MARCH, A.D. BAILEY, A review of the two dimensional transforms and its use in seismic processing. *First break*, p. 9-21, January 1983.