

Barbara Nicolas

Travaux de recherche effectués

1. Travaux de thèse	p. 1
1.1. Introduction	p. 1
1.2. Identification du milieu océanique	p. 2
1.3. Localisation de source	p. 3
2. ATER	p. 4
3. Stage post-doctoral à l'étranger	p. 5
4. Stage post-doctoral en France	p. 6
5. Références bibliographiques	p. 6

1. Travaux de thèse

1.1. Introduction

L'exploration de l'océan, la localisation de sources sous-marines et la transmission d'information dans l'océan concernent de nombreux domaines comme la recherche pétrolière, la défense ou encore l'océanographie.

Les sources considérées au cours de ce travail sont des **sources Ultra Basse Fréquence (1-100 Hz)**. Pour ces ondes et dans un **environnement peu profond**, la propagation dans le milieu océanique devient complexe. Les interactions avec le fond ne pouvant plus être négligées, l'océan doit être représenté par des modèles faisant intervenir de manière réaliste le fond marin. Ainsi, pour réaliser la localisation de la source, il devient nécessaire de posséder des informations sur le milieu de propagation (vitesses, densités, hauteur d'eau).

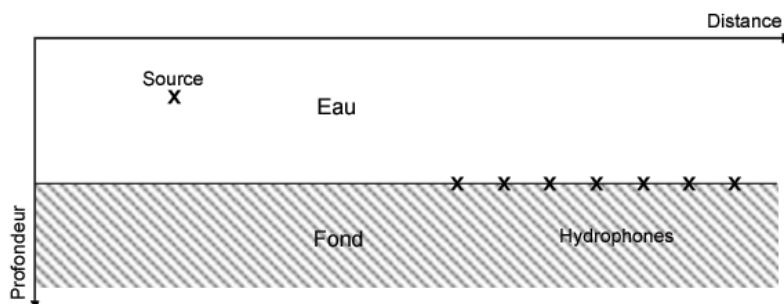


Figure 1 - Cadre de l'étude

La première partie de mon travail de thèse consiste donc à mettre au point des méthodes d'identification du milieu océanique. Le dispositif d'acquisition est constitué d'une antenne horizontale d'hydrophones (capteurs de pression) posés sur le fond (*cf. figure 1*). L'identification est réalisée grâce à des sources acoustiques impulsionnelles puis elle est étendue au cas de sources d'opportunité ayant un spectre présentant des raies (sources "bruits de bateaux").

Puis la localisation de la source proprement dite est réalisée : pour une source acoustique impulsionnelle, une méthode par filtrage modal est proposée.

Barbara Nicolas

Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA)

LETI/DTBS/STD/LDET - Bat. 4028 - 17, rue des Martyrs 38054 Grenoble cedex 9 - France

Email : barbara.nicolas@cea.fr --- Tél. : +33 (0) 4 38 78 42 79 --- Fax : +33 (0)4 38 78 51 64

1.2. Identification du milieu océanique

L'identification du milieu océanique dans des environnements peu profonds a été l'objet de nombreuses recherches [JOE96, JOE03, JOE04]. Cependant, peu de méthodes permettent une identification simple et rapide. Au cours de ma thèse, j'ai proposé une méthode basée sur la transformée fréquence - nombre d'onde (f-k) et sur la physique de la propagation pour identifier le milieu océanique [NML03].

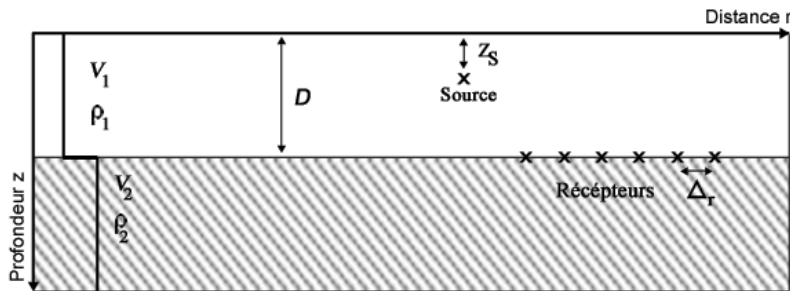


Figure 2 - Configuration étudiée : guide de Pekeris, source acoustique dans la tranche d'eau, réseau de capteurs posé sur le fond

La première étape consiste à estimer la vitesse V_1 des ondes dans l'eau par recalage temporel de l'onde directe, méthode classiquement utilisée en sismique. Puis, dans le cas simple mais réaliste d'un guide de Pekeris (cf. figure 2), constitué d'une couche d'eau (de hauteur D et de vitesse V_1) et d'une couche représentant le fond marin (couche semi-infinie de vitesse V_2), la transformée f-k d'une section sismique enregistrée à grande distance peut être modélisée, faisant apparaître une propagation par modes (cf. figure 3). Sur cette figure, l'énergie est localisée sur des courbes noires appelées courbes de dispersion des modes (m correspond au numéro du mode). Il est possible, à partir de ces figures, et plus particulièrement de la droite limite de la propagation (bleue) et des fréquences de coupure (croix) d'estimer respectivement la vitesse V_2 des ondes dans le fond et de la hauteur d'eau D , chacune de ces grandeurs mesurées étant reliée mathématiquement à la grandeur physique à estimer.

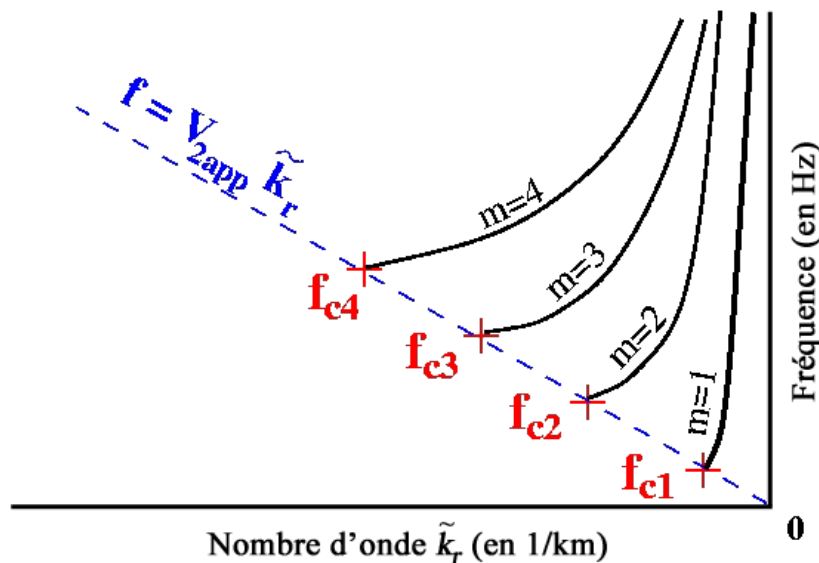


Figure 3 - Représentation f-k de la propagation dans un guide de Pekeris après recalage temporel

Les spécificités de la méthode d'identification sont :

- la réalisation de l'identification à partir de la physique de la propagation
- l'utilisation de la transformée $f-k$
- la simplicité et la rapidité du traitement

Ces méthodes ont été appliquées sur de nombreuses données, simulées et réelles, afin de tester leur validité [NMGL03]. J'ai notamment réalisé en collaboration avec P. Roux et W. Kuperman une série d'expériences "petites échelles" au Marine Physical Laboratory (SCRIPPS San Diego) [NRLM05]. Le principe des expériences "petites échelles" est le suivant : en augmentant la fréquence du signal source d'un facteur x , on divise les distances par ce même facteur. Ainsi, il est possible de réaliser une propagation océanique à grande distance dans une cuve de faibles dimensions. Ces expériences ont permis une validation supplémentaire car l'environnement était parfaitement connu et il a ainsi été possible d'évaluer les erreurs d'estimation sur des données réelles.

1.3. Localisation de source

La seconde partie de ma thèse concerne l'estimation de la profondeur de source. Comme lors de l'identification du milieu, nous utilisons la représentation $f-k$ pour réaliser cette localisation. En effet, celle-ci permet de séparer le signal utile, localisé sur les courbes de dispersion des modes, du bruit aléatoire réparti sur l'ensemble du plan $f-k$. Nous proposons une méthode de filtrage modal dans le plan fréquence - nombre d'onde $f-k$, basée sur la physique de la propagation et le filtrage modal classique.

Le filtrage modal consiste à utiliser les modes pour localiser la source [Sha85, SCW85, WKV88, BY92]. L'information de profondeur de la source est contenue dans les coefficients d'excitation des modes. Un filtre permettant d'extraire ces coefficients est construit puis les coefficients extraits sont comparés à des coefficients théoriques obtenus pour différentes profondeurs de sources (à partir des équations analytiques de la propagation dans un guide parfait ou en utilisant un modèle de propagation par modes normaux). La profondeur estimée est celle pour laquelle les coefficients d'excitation des modes théoriques sont les plus proches des coefficients réels.

Les méthodes d'estimation de la profondeur par filtrage modal utilisent généralement un réseau vertical de capteurs pour réaliser l'extraction des modes [Sha85] car celui-ci facilite cette extraction. Nous nous intéressons ici à un réseau horizontal de capteurs posés sur le fond car ce type de réseau est plus facile à laisser en place qu'un réseau vertical et n'est pas soumis au mouvement du courant. Dans ce cas, la généralisation des méthodes classiques n'est pas applicable : il n'est pas possible de séparer les différentes contributions de la source comme cela est fait dans [Sha85]. Il faut adopter une nouvelle approche : extraction des coefficients d'excitation des modes dans le plan $f-k$.

Les différentes étapes de cette approche sont résumées sur la *figure 4*. L'extraction de ces coefficients est réalisée dans le plan $f-k$ grâce à un filtrage par masque (A). La profondeur de la source est alors estimée en comparant, à l'aide d'une fonction de contraste (C), les coefficients d'excitation extraits des données réelles (A) à un ensemble de coefficients extraits de données simulées (B) dans un environnement le plus semblable possible à l'environnement océanique réel (l'identification du milieu océanique ayant été réalisée au préalable).

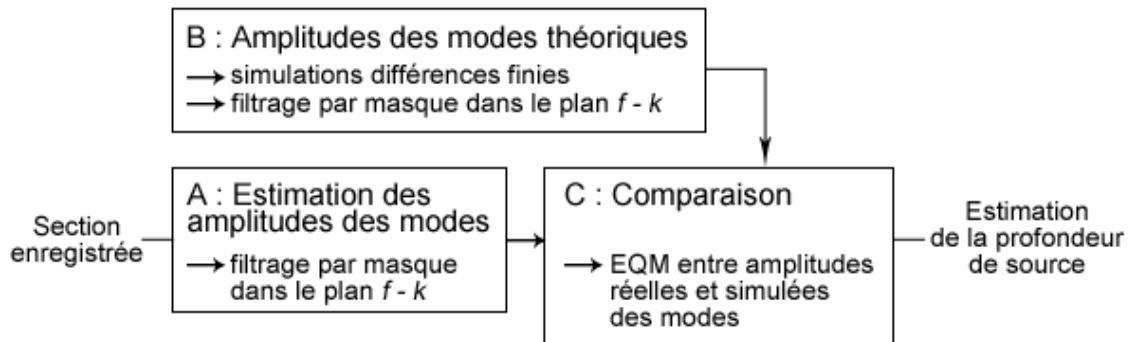


Figure 4 - Principe du filtrage modal dans le plan fréquence - nombre d'onde

Les **spécificités de la méthode** d'estimation de la profondeur de source sont :

- la réalisation de l'estimation à partir d'une **antenne horizontale de capteurs**
- l'**extraction des coefficients d'excitation dans le plan $f-k$** afin de rendre la méthode robuste aux différentes erreurs d'identification et de modélisation
- la **comparaison avec des coefficients** d'excitation extraits (de la même manière que les coefficients réels) de données **simulées** par différences finies

Cette méthode a été appliquée sur des données simulées afin d'étudier la robustesse face au bruit et face à une erreur d'identification de l'environnement. Elle a également permis d'estimer la profondeur d'une source "canon à air" sur des données réelles issues d'une campagne sismique [NML04, NML06]. Enfin, dans le cas des données "petites échelles" réalisées au MPL, j'ai montré que l'estimation du module des coefficients d'excitation des modes n'était pas suffisante et qu'il fallait également estimer le signe de ces coefficients pour réaliser une estimation satisfaisante de la profondeur de source [NRLM05].

Pour conclure sur mon travail de thèse, j'ai proposé une méthode globale permettant de réaliser conjointement, dans des environnements océaniques petits fonds, l'identification du milieu et l'estimation de la profondeur d'une source Ultra Basse Fréquence à partir d'une antenne d'hydrophones posés sur le fond.

2. ATER

A la vue de ces travaux, il m'en ensuite semblé intéressant de proposer des méthodes permettant de réaliser la localisation de source non plus à partir d'une antenne de capteurs mais à partir d'un unique capteur ce qui permet de faciliter la mise en pratique des méthodes proposées.

Une possibilité était d'utiliser des représentations temps-fréquence à la place de la représentation fréquence-nombre d'onde. L'avantage des représentations temps - fréquence réside dans le fait qu'elles ne nécessitent qu'un seul capteur alors qu'il est nécessaire de posséder une antenne de capteurs pour réaliser une transformée $f-k$.

Dans cette optique, j'ai co-encadré, durant les derniers mois de ma thèse, en collaboration avec Jean-Louis Lacoume, le stage de Master 2 Recherche de Grégoire Le Touzé. Au cours de ce stage, nous avons proposé une méthode d'estimation de la profondeur de la source dans le **plan temps-fréquence**. Cette collaboration s'est poursuivie pendant mon ATER.

La première partie du travail a consisté, à partir d'une méthode proposée par Chen [CMBB+03], à proposer une **représentation temps - fréquence adaptée au modèle du guide de Pekeris**

Barbara Nicolas

Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA)

LETI/DTBS/STD/LDET - Bat. 4028 - 17, rue des Martyrs 38054 Grenoble cedex 9 - France

Email : barbara.nicolas@cea.fr --- Tél. : +33 (0) 4 38 78 42 79 --- Fax : +33 (0)4 38 78 51 64

[LTNMF05]. Cette méthodologie est originale car la représentation est supervisée par les connaissances a priori issues de la physique de la propagation des ondes.

Elle consiste à projeter le signal sur un dictionnaire d'atomes pavant le plan temps - fréquence, ce dictionnaire étant construit à partir des courbes théoriques des modes de propagation du guide. Cette technique peut s'interpréter comme la projection du signal sur les courbes de dispersion des modes.

Cette représentation a ensuite été utilisée pour extraire les coefficients d'excitation des modes. L'extraction des coefficients et l'estimation de la profondeur ont été réalisées en suivant le même protocole que celui mis au point lors de l'estimation de la profondeur de la source à partir de représentation $f-k$ (extraction et estimation des coefficients d'excitation des modes par filtrage par masque puis élaboration d'une fonction de contraste pour comparer coefficients réels et simulés). Cette méthode a été appliquée sur plusieurs jeux de données réelles [LTNM+05] et a fourni des résultats comparables à ceux obtenus avec la représentation $f-k$. Elle permet donc d'estimer la profondeur d'une source à partir d'un seul capteur. En contre partie, il est nécessaire de connaître la distance source - capteur pour construire les masques des modes dans le plan temps-fréquence.

3. Stage post-doctoral à l'étranger

Durant le deuxième semestre 2005, j'ai effectué un stage post-doctoral au Marine Physical Laboratory (MPL, San Diego) sur le thème de la tomographie océanique [MWW95] en collaboration avec Philippe Roux, William Kuperman et Bruce Cornuelle.

L'objectif principal était de caractériser le plus précisément possible le milieu océanique sur un jeu de données acquises en mer. Durant cette expérience, 29 transducteurs sources et 32 hydrophones, couvrant totalement la hauteur d'eau, ont été placés à 9 km de distance dans un chenal acoustique de 100 m de profondeur. L'acquisition de la fonction de transfert (ou fonction de Green) entre chaque couple émetteur-récepteur a été réalisée toutes les 20 s pendant plusieurs heures dans la bande de fréquence 3-4 kHz.

Parallèlement à l'étude de données expérimentales enregistrées en mer, le travail de recherche a consisté en la réalisation d'expériences ultrasonores à "petites échelles" permettant d'étudier séparément les principaux aspects du problème ce qui n'était pas possible sur le jeu de données acquis en mer. Ainsi, nous avons réalisé des expériences à l'échelle 1/10000 dans un guide d'ondes ultrasonore de 1 m dont dispose le MPL afin d'étudier les fluctuations de température ce qui nous a permis de "simuler" un guide d'une longueur de 10 km.

La méthode de tomographie utilisée consiste à considérer simultanément une unique source et une antenne de réception. Pour ce couple source/antenne de réception, une formation de voie permet de distinguer les arrivées des différents rayons [CH87]. Le suivi du temps d'arrivée de ces rayons au cours du temps permet de suivre une éventuelle modification de la carte vitesse du milieu considéré.

Au cours de ces cinq mois de post-doc, j'ai mis en place le traitement des données permettant de suivre les arrivées des rayons au cours du temps. L'inversion elle-même n'a été réalisée que pour des cas simulés relativement simples. Les travaux sur ce sujet se poursuivent actuellement entre le MPL (Bruce Cornuelle) et le Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique de Grenoble (Philippe Roux).

4. Stage post-doctoral en France

Depuis septembre 2005, j'effectue un post-doc au CEA-Grenoble sur la fabrication et le traitement d'images issues des caméras à rayons Gamma. Le principe de ces caméras est le suivant : on administre à un patient des molécules radioactives, celles-ci vont se fixer dans le corps du patient et émettent des rayons Gamma (photons). La distribution des radio-éléments dans le corps du patient est imagée à l'aide d'une Gamma-camera, équipée d'un système de collimation. Cette Gamma-caméra détecte, trie et localise les photons Gamma.

Le système de collimation ainsi qu'une sélection en énergie permet de ne sélectionner que les photons arrivant perpendiculairement au détecteur et n'ayant pas subi d'interaction entre le lieu d'émission et le détecteur [VMM+05]. Ainsi, en comptant le nombre de photons détectés par chaque pixel de la caméra on détermine la valeur du pixel de l'image résultat.

Cependant, cette méthode de travail nous prive d'un grand nombre de photons, ceux ayant subi une diffusion Compton entre le lieu d'émission et le détecteur. Ces photons n'ont pas la même énergie que ceux arrivant directement et sont donc éliminés. L'objectif de mon post doc est de sélectionner ces photons (à partir de leur énergie), de reconstruire leur trajet (modélisation du problème direct puis inversion [ENF01]) afin de les utiliser pour augmenter la qualité de l'image. Des travaux théoriques ont été réalisés concernant la modélisation du problème direct [NTBD04] mais nous souhaitons reprendre cette étude afin d'intégrer le plus justement possible les différents phénomènes physiques : diffusion mais également atténuation ainsi que les propriétés des Gamma-caméras : collimation, détection.

Cette étude a débuté au mois de septembre, nous avons d'ores et déjà établi des algorithmes de traitements d'image permettant la sélection des photons suivant leur énergie. Les photons diffusés, ainsi que les photons n'ayant pas subi d'interaction, seront la base de notre algorithme de reconstruction. Nous travaillons actuellement sur la modélisation du problème direct.

5. Références bibliographiques

- [BY92] C.W. Bogart and T.C. Yang. Comparative performance of matched-mode and matched-field localization in a range-dependent environment. *J. Acoust. Society America*, 92(4):2051-2068, 1992.
- [CH87] B.D. Cornuelle and B.M. Howe. High resolution in vertical slice ocean acoustic tomography. *J. Geophys. Res.*, 92:11680-11692, 1987.
- [CMBB+03] C-S. Chen, J.H. Miller, G.F. Boudreaux-Bartels, G.R. Potty and C.J. Lazauski. Time-frequency representations for wideband acoustic signals in shallow water. In *IEEE/MTS Oceans*, pages 2903-2907, San Diego, 2003.
- [ENF01] L. Eglin, M.K. Nguyen, and C. Faye. Restoration from a multi-energy scintigraphic image sequence in the bayesian framework. In *20th International Workshop on Bayesian Inference and Maximum Entropy Methods in Science and Engineering, MaxEnt-2000*, pages 513-520, American Institute of Physics, 2001.
- [JOE96] Special issue on inversion techniques and the variability of sound propagation in shallow water. *IEEE J. Oceanic Eng.*, 21(4), 1996.

- [JOE03] Special issue on geoacoustic inversion in range-dependent shallow water. *IEEE J. Oceanic Eng.*, 28(3), 2003.
- [JOE04] Special issue on geoacoustic inversion in range-dependent shallow water (continued). *IEEE J. Oceanic Eng.*, 29(1), 2004.
- [LTNM+05] G. Le Touzé, B. Nicolas, J. Mars, J.L. Lacoume, and D. Fattaccioli. Source depth estimation using modal decomposition and time-frequency representations. In *IEEE/MTS Oceans*, Brest, 2005.
- [LTNMF05] G. Le Touzé, B. Nicolas, J. Mars, and D. Fattaccioli. Représentations temps-fréquence adaptées aux ondes guidées. In *20ème colloque du GRETSI*, Louvain la Neuve, Belgique, 2005.
- [MWW95] W. Munk, P. Worcester, and C. Wunsch. *Ocean Acoustic Tomography*. Cambridge Univ. Press, England, 1995.
- [NMGL03] B. Nicolas, J. Mars, F. Glangeaud, and J-L. Lacoume. Measurement of geoacoustical parameters with ultra low frequency waves. In *3rd workshop on Physics in Signal and Image Processing*, pages 53-56, Grenoble, 2003.
- [NML03] B. Nicolas, J. Mars, and J-L. Lacoume. Geoacoustical parameters estimation with impulsive and boat noise sources. *IEEE J. Oceanic Eng.*, 28(3):494-501, 2003.
- [NML04] B. Nicolas, J. Mars, and J-L. Lacoume. Source depth estimation using modal decomposition and frequency-wavenumber transform. In *12th European Signal Processing Conference*, Vienne, 2004.
- [NML06] B. Nicolas, J. Mars, and J-L. Lacoume. Source depth estimation using a horizontal array by matched-mode processing in the frequency - wavenumber domain. *Eurasip Journal of Applied Signal Processing*, to appear in 2006.
- [NRLM05] B. Nicolas, P. Roux, J-L. Lacoume, and J. Mars. Localisation de source par filtrage modal : application à des données petites échelles en asm. In *20ème colloque du GRETSI*, Louvain la Neuve, Belgique, 2005.
- [NTBD04] M.K. Nguyen, T.T. Truong, H.D. Bui, and J.L. Delarbe. A novel inverse problem in gamma-rays emission imaging. *Inverse Problems*, 12(2):225-246, 2004.
- [SCW85] E.C. Shang, C.S. Clay, and Y.Y. Wang. Passive harmonic source ranging in waveguides by using mode filter. *J. Acoust. Society America*, 78(1):172-175, 1985.
- [Sha85] E.C. Shang. Source depth estimation in waveguides. *J. Acoust. Society America*, 77(4):1418-1423, 1985.
- [VMM+05] P. Verger, L. Ouvrier-Bufferet, F. Mathy, G. Montemont, J. Picone, M. Rustique, and C. Riffard. Performance of a new CdZnTe portable spectrometric system for high energy applications. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 52(5):1733-1738, 2005.
- [WKV88] G.R. Wilson, R.A. Koch, and P.J. Vidmar. Matched mode localization. *J. Acoust. Society America*, 84(1):310-320, 1988.