

NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

935



NICE du 16 au 20 MAI 1983

FILTRAGE DES MODES DE PROPAGATION PAR DOUBLE VISEE D'ANTENNE

J.L. GARNIER et C. GAZANHES

LABORATOIRE DE MECANIQUE ET D'ACOUSTIQUE - C.N.R.S. - B.P. 71 - 13277 MARSEILLE Cedex 9.

RESUME

Dans un guide plat répondant au modèle de Pekeris - lame d'eau sur fond de sable - les modes de propagation créent un champ sonore d'interférence convenant mal aux transmissions.

Une méthode permet la séparation des modes par filtrage spatial, elle utilise les propriétés d'orthogonalité des fonctions modales.

Un mode étant aussi caractérisé par son angle d'excitation, nous présentons une méthode de filtrage par sélection angulaire, avec les résultats de son application. Elle utilise une antenne gouvernée par deux réseaux déphaseurs indépendants, réalisant les visées complémentaires des ondes provenant des frontières du guide. Dans la configuration symétrique des faisceaux, il existe une similitude de formulation avec le filtrage spatial.

La méthode proposée autorise un balayage angulaire continu du champ sonore, et révèle les modes présents non connus à l'avance. Elle permet d'envisager l'adaptation de chaque visée indépendante, aux modifications des frontières du guide, et à leurs mesures.

SUMMARY

MODES FILTERING IN SHALLOW WATER PROPAGATION
BY A TWIN PHASE - SHIFTED ARRAY

A method is proposed for angular filtering of a selected normal mode by means of a twin steered array. Examples are given for spatial filtering by a single angle of sight and by association of the symmetrical angle of sight. Calculations were made with the parameters of our previous experiments. Similarities between the spatial filtering by amplitude weighting with functions of one of the normal modes, and by electronic steering using phase shifters are pointed out. Possibilities for modal spectroscopy and adaptive filtering are investigated.



1.0 INTRODUCTION

La propagation en eau peu profonde s'effectue entre deux frontières ; la surface libre et le fond de la mer. Elles forment un guide d'ondes. Les ondes sonores issues d'une source omnidirectionnelle se réfléchissent de nombreuses fois, seuls les rayons qui s'additionnent en valeur instantanée se propagent à distance. Les nombreux modes ainsi créés interfèrent et le champ sonore résultant varie fortement avec les coordonnées de la source. Pour remédier à cette situation une méthode de filtrage spatial a été éprouvée. Une deuxième méthode de sélection angulaire est proposée, elle permet d'analyser le champ sans connaître les modes présents, elle s'adapte aux variations des paramètres du guide.

1.1 MODELE DE PEKERIS

La figure 1 représente la forme simple du modèle de Pekeris [1] ; lame d'eau isocélère sur fond de sable fluide. La réflexion sur la surface est totale, la réflexion sur le fond également au dessus de l'angle limite θ_L , avec un déphasage ϵ calculable. ($\sin \theta_2 = \frac{c_1}{c_2}$; $\rho_2 c_2 > \rho_1 c_1$ où ρ et c sont la masse spécifique et la célérité).

L'addition des rayons 1 et 3 nécessaire à la formation d'un plan d'onde cohérent (figure 1) doit satisfaire la relation :

$$(1.1.0) \quad \frac{4 \pi f H}{c_1} \cos \theta - \epsilon = (2n - 1) \pi$$

où f est la fréquence d'émission de la source et H la hauteur d'eau. Compte-tenu des solutions théoriques pour une propagation guidée, et des paramètres du modèle, on obtient [2] [3] [4] l'équation caractéristique

$$(1.1.1) \quad \operatorname{tg} \left(\frac{2\pi f}{c_1} H \cos \theta \right) = - \frac{\rho_2}{\rho_1} \frac{\cos \theta}{\sqrt{\sin^2 \theta - \left(\frac{c_1}{c_2}\right)^2}}$$

dont les solutions θ_n réelles correspondent aux angles d'excitation des n modes capables de se propager.

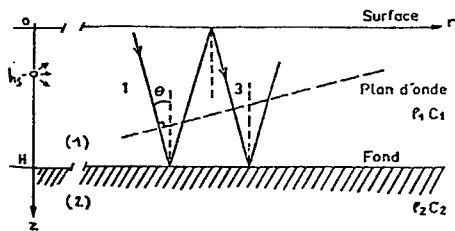


Figure 1

1.2 EXPRESSION DU CHAMP SONORE

Pour une immersion h_s de la source, le champ sonore dans l'eau résulte de la contribution des N modes. La pression reçue sur un capteur de coordonnées r, z s'exprime alors par :

(1.2.0)

$$p(r, z, h_s) = \rho_1 \left(\frac{2H}{z}\right)^{\frac{1}{2}} \sum_{n=1}^N G_n \sin(\beta_n h_s) \sin(\beta_n z) e^{-z(\delta_n + j\varphi_n)}$$

où pour un mode d'ordre n :

$$p_1 = \omega \rho_1 e^{-j(\omega t - \pi/r)} \text{ est la pression initiale de la source}$$

$\beta_n = k \cos \theta_n$ est le nombre d'onde vertical, avec $k = \omega/c_1$

$k_n = k \sin \theta_n$ est le nombre d'onde horizontal

δ_n est l'amortissement de propagation et $\varphi_n = k_n + \pi/4 r$.

G_n est le facteur d'excitation du mode n

$\sin(\beta_n h_s)$ et $\sin(\beta_n z)$ sont les fonctions modales de la profondeur, pour la source et pour le capteur.

La pression sonore est le résultat de l'interférence de tous les modes, et varie fortement avec les coordonnées r, z, h_s , (figure 2). La liaison entre une source et un capteur en évolution ne peut être maintenue.

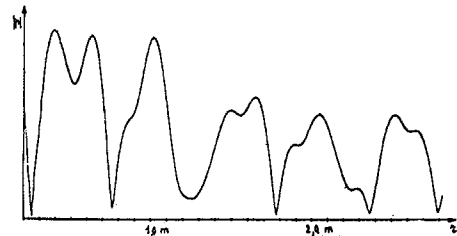


Figure 2

Il convient donc de rechercher une méthode capable d'isoler un mode parmi l'ensemble qui interfère.

2.0 METHODES DE FILTRAGE DES MODES

Un mode de propagation est à considérer sous deux aspects :

1.) Onde stationnaire - Il possède, selon l'axe vertical du guide plan isocélère, une fonction modale invariable, différente des modes voisins, (figure 3).

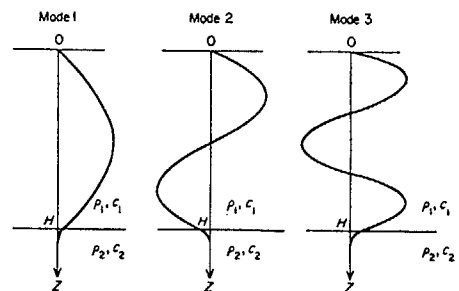


Figure 3

Cela conduit à l'idée d'un traitement du signal, réalisant le filtrage spatial de cette fonction.

2.) Angle d'excitation. Il possède une incidence de propagation constante, bien distincte des modes voisins, tableau 1.

FILTRAGE DES MODES DE PROPAGATION PAR DOUBLE VITESSE D'ANTENNE

Mode	θ_m	θ'_m
1	84°,6	5°,4
2	79°,2	10°,8
3	73°,5	16°,5
4	67°,5	22°,5
5	61°,3	28°,7

TABLEAU 1 $f = 124 \text{ kHz}$; $H = 57.10^{-3} \text{ m}$;
 $\rho_2 = 2,05$; $c_2 = 1750 \text{ ms}^{-1}$

Cela conduit à l'idée d'une sélection angulaire, des rayons sonores du mode, sélection réalisée par un réseau directif.

2.1 FILTRAGE SPATIAL DES MODES

Il a été étudié [5] mis au point [6] et expérimenté [7] [8] [9] sur un modèle physique reproduisant à échelle réduite les aspects d'une propagation en eau peu profonde. Il est basé sur les propriétés d'orthogonalité que possèdent les fonctions de la profondeur, (figure 3). Il est réalisé en appliquant au champ d'interférence un filtre spatial. Celui-ci se compose d'un réseau de capteurs Q dont les signaux sont pondérés par les valeurs discrètes de la fonction modale à extraire, et additionnés. Ces opérations et le signal filtré S_m s'expriment pour un mode m connu :

(2.1.0)

$$S_m(x, h) = P_1 \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^{\frac{1}{2}} \sum_{i=1}^Q \sin(\beta_m z_i) \sum_{n=1}^N G_n \sin(\beta_n h) \sin(\beta_n z_i) e^{-z(\gamma_n + j\varphi_n)}$$

où i est l'indice d'immersion de l'un des capteurs entre la surface et le fond, et n est l'ordre courant d'un mode entre 1 et N.

2.2 SELECTION ANGULAIRE DES MODES

Elle consiste soit à orienter successivement le lobe principal d'une antenne directive sur les angles de propagation de chacun des modes, soit à opérer sa rotation continue dans le champ d'interférences afin de rechercher ceux-ci.

En fait la rotation du faisceau sans mouvement physique de l'antenne est préférable, et s'effectue sans modification du champ sonore.

La rotation du faisceau est obtenue par des déphaseurs, ou lignes à retards, associés aux capteurs de l'antenne. Pour "viser" selon l'angle θ , qui peut être θ_m pour un mode m, on effectuera (figure 4) la rotation virtuelle $\theta'_m = \pi/2 - \theta_m$ de l'antenne. Le déphasage à introduire dans le signal d'un capteur i d'immersion z_i , est

$$\Phi_i = k z_i \sin \theta'_m = k z_i \cos \theta_m$$

ou retard $\tau_i = \cos \theta_m z_i / c_1$

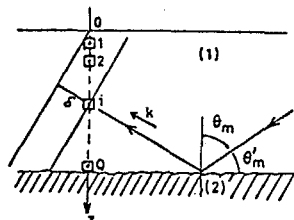


Figure 4

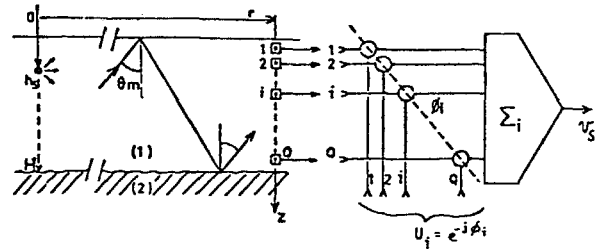


Figure 5

Ces déphasages s'ajoutent identiquement à la réception de chaque mode. Le circuit de la figure 5 forme par addition des voies 1 à Q, la visée d'antenne et fournit le signal $v_s = V_1$

$$V_1(h_s, r, \theta_m) = P_1 \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^{\frac{1}{2}} \sum_{i=1}^Q e^{-j\Phi_i} \sum_{n=1}^N G_n \sin(\beta_n h_s) \sin(\beta_n z_i) e^{-z(\gamma_n + j\varphi_n)} \quad (2.2.0)$$

Le module de V_1 a été tracé en fonction de la profondeur h_s de la source (figures 6b), et en fonction de la distance r, (figures 6) pour les trois premiers modes du tableau 1, ainsi que pour les autres non représentés.

On constate sur ces tracés une interférence des modes voisins signifiant que le mode visé n'est ni isolé, ni suffisamment filtré.

Afin d'augmenter la résolution du système établissent la visée symétrique des signaux provenant de la surface, (figure 4), sous l'angle $-\theta'_m$.

3.0 FILTRAGE DES MODES PAR DOUBLE VISEE D'ANTENNE

Sur la même antenne branchons un deuxième dispositif introduisant les déphasages $-\Phi_i = -k z_i \cos \theta_m$ ou l'avance $\tau_i = \cos \theta_m z_i / c_1$

Ce circuit indépendant fournit le signal $v_s = V_2$

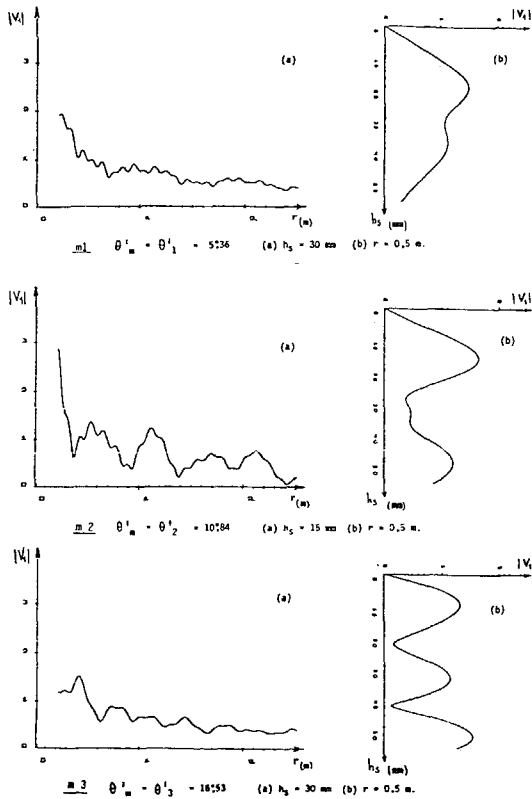
$$V_2(h_s, r, -\theta_m) = P_1 \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^{\frac{1}{2}} \sum_{i=1}^Q e^{j\Phi_i} \sum_{n=1}^N G_n \sin(\beta_n h_s) \sin(\beta_n z_i) e^{-z(\gamma_n + j\varphi_n)} \quad (3.0.0.)$$

Pour exploiter les signaux instantanés donnés par les deux visées tenons compte de l'opposition de signe des coefficients de réflexion surface/fond et calculons la différence $D = V_1 - V_2$, puis son module.

Les tracés obtenus, (figures 7), pour les trois premiers modes et les suivants non représentés, montrent par la pureté des signaux conforme aux fonctions modales, l'efficacité du filtrage par double visée d'antenne [10].



FILTRAGE DES MODES DE PROPAGATION PAR DOUBLE VITESSE D'ANTENNE



Figures 6

3.1 SIMILITUDE DE LA DOUBLE VISEE ET DU FILTRAGE SCALAIRE

En étudiant la différence des équations (2.2.0) et (3.0.0.) il apparaît en facteur de l'expression somme du champ sonore, le terme

$$e^{j\Phi_i} - e^{-j\Phi_i}$$

soit

$$2j \sin \Phi_i = 2 e^{-j\pi/2} \sin \Phi_i$$

Plaçons le terme constant $2 e^{-j\pi/2}$ en facteur de la double somme, il reste le terme $\sin \Phi_i$ qui pour un mode d'ordre m s'écrit

$$\sin(k \cos \theta_m z_i) = \sin \beta_m z_i$$

C'est exactement le facteur de pondération utilisé dans le filtrage spatial apparaissant dans l'équation (1.2.0).

4.0 CALCUL DES DIRECTIVITES DE L'ANTENNE

Considérons l'antenne équipée de ses deux réseaux déphaseurs dans un champ uniforme ; une rotation introduit sur les signaux d'un capteur i le déphasage supplémentaire $\Phi_i(\theta) = k z_i \sin \theta$

Les deux déphasages nécessaires aux deux visées pour un mode m sont encore

$$\pm \Phi_i(\theta_m) = k z_i \cos \theta_m$$

Les deux fonctions de directivité obtenues avec les deux réseaux déphaseurs, s'écrivent :

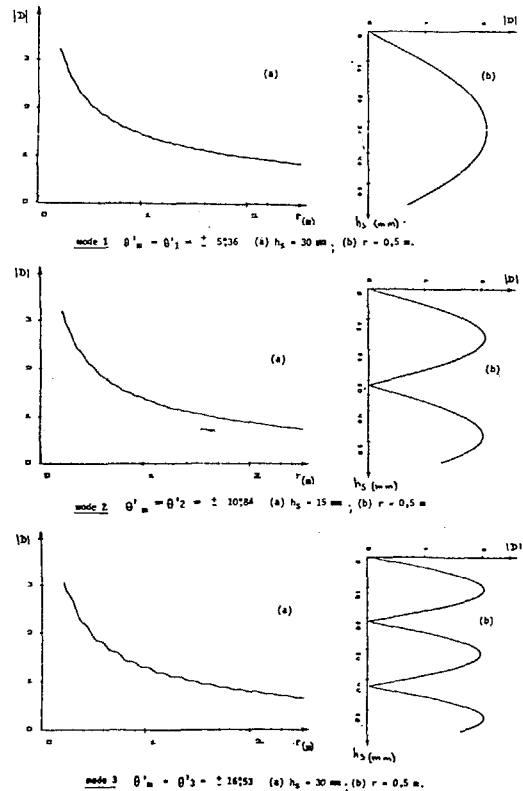
$$(4.0.0) \quad K_1(\theta, \theta_m) = \sum_{i=1}^Q e^{-j(\Phi_{i0} + \Phi_{i0m})}$$

$$(4.0.1) \quad K_2(\theta, -\theta_m) = \sum_{i=1}^Q e^{-j(\Phi_{i0} - \Phi_{i0m})}$$

Nous avons calculé et tracé $|K_1|, |K_2|$ et en doublevisée $|K_2 - K_1|$, en fonction de la rotation θ . Nous les reproduisons pour les 3 premiers modes (figures 8)

- a) visée vers le fond,
- b) visée vers la surface,
- c) association des deux.

Les lobes de directivités couvrent et correspondent aux angles d'excitation des modes; Tableau 1.



Figures 7

Nous pouvons maintenant replacer l'antenne dans le guide d'onde et effectuer un balayage angulaire du champ d'interférence total des modes [11].

4.1 SPECTRE ANGULAIRE DES MODES

Remplaçons dans les équations (2.2.0) et (3.0.0.) l'angle d'excitation déterminé par l'angle variable ν . Les déphasages introduits dans les deux voies d'un capteur i s'écrivent

$$\pm \Phi_i(\theta_\nu) = \pm k z_i \cos \theta_\nu$$

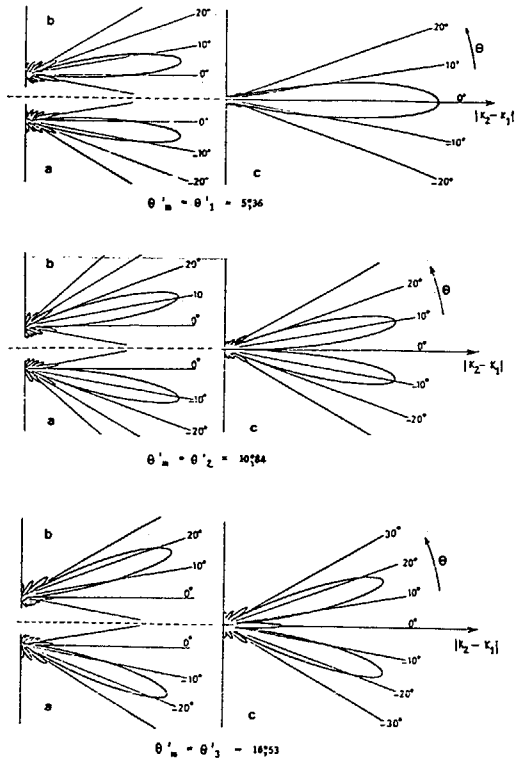
Les expressions des signaux V_1 et V_2 , en fonction de θ_ν, r, h_s deviennent

(4.1.0)

$$\left. \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \end{matrix} \right\} = r_1 \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^{\frac{1}{2}} \sum_{i=1}^Q e^{\pm j\Phi_i(\theta_\nu)} \sum_{n=1}^N G_n \sin(\beta_n h_s) \sin(\beta_n z_i) e^{-\gamma(\delta_n + j\Phi_n)}$$

Nous avons calculé et tracé (figure 9), le module de $D = V_2 - V_1$ en fonction de θ_ν pour un champ résultant de 5 modes excités. Les valeurs angulaires des 5 pics correspondent aux valeurs du tableau 1.

FILTRAGE DES MODES DE PROPAGATION PAR DOUBLE VITESSE D'ANTENNE



Figures 8

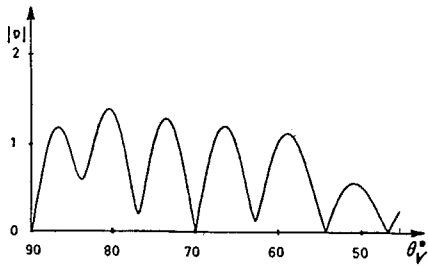


Figure 9

5.0 CONCLUSION

La méthode double visée angulaire, associée aux techniques de balayage électronique des faisceaux d'antenne, autorise une analyse rapide du champ d'interférence dans un guide d'onde.

Par balayage angulaire du champ sonore, la double visée permet de détecter, puis de filtrer les modes présents, dont l'existence et la position ne sont pas connues à l'avance.

Une similitude de formulation existe avec la méthode de filtrage spatial, pour les visées symétriques.

L'indépendance des faisceaux, permet d'envisager leur adaptation respective aux conditions de réflexion des frontières du guide d'onde, et à la mesure de celles-ci.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) PEKERIS C.L., Theory of Propagation of Explosive Sound in Shallow Water Géol. Soc. Amer. n° 27, 1948
- (2) OFFICER C.B. Introduction to the Theory of Sound Transmission Mc Graw Hill, New York, 1958
- (3) TOLSTOY I. and CLAY, C.S. Ocean Acoustic. Mc Graw Hill, New York, 1966.
- (4) PLAISANT A. Contribution à l'étude de la propagation du son dans l'eau par petits fonds Thèse de 3ème cycle, Université d'Aix-Marseille, 1970
- (5) SESSAREGO J.P. Filtrage spatial des modes par petits fonds marins Thèse de 3ème cycle, Université de Provence, 1977
- (6) SESSAREGO J.P. et al. Etude de la propagation sonore en eau peu profonde, à l'aide de modèles réduits Revue du CETHEDC, n° 54, 1978
- (7) GAZANHES. C., SESSAREGO J.P., et GARNIER J.L. Identification de modes dans une Propagation par Petits Fonds Marins Actes du 6e Colloque GRETSI 21/1 - 12/5, Nice Avril 1977
- (8) GAZANHES C., GARNIER J.L. et SESSAREGO J.P. Beam Forming and Frequency Dependence of Mode Identification in Shallow Water Propagation J. Sound Vib. 65 1979 , 165
- (9) GAZANHES C., and GARNIER J.L. Experiments on Single Mode Excitation in Shallow Water Propagation J. Acoust. Soc. Am. 69 1981 , 963
- (10) GARNIER J.L. Filtrage des modes dans un guide d'ondes par double visée d'antenne Acustica (à paraître)
- (11) ELISEEVNIN V.A. Operation of a Vertical Live Array in Water Layer Sov. Phys. Acoust. 27 1981 , 125 .

