



**CARACTERISATION DES MODES DE PROPAGATION PAR LEUR
FREQUENCE SPATIALE - ESSAI D'IDENTIFICATION
D'UN FOND MARIN MODELISE EN BASSIN.**

GARNIER J.L., CRISTINI P. et GAZANHES C.

LABORATOIRE DE MECANIQUE ET D'ACOUSTIQUE - CNRS - BP 71 13402 MARSEILLE cedex09

RESUME

Nous présentons l'application à un guide acoustique (modèle réduit en bassin d'une propagation sous marine), d'une méthode de détection des modes propagatifs, et les résultats obtenus en relation avec la nature du fond réflecteur. Cette méthode connue, complète les précédentes par sa forte sélectivité. Elle est basée sur l'analyse de Fourier, et sur le changement apparent de variable introduit dans le signal, par le déplacement à vitesse constante du capteur dans le champ sonore. La référence de phase étant prise sur la source, les nombres d'onde ressortent comme une suite de fréquences spatiales. L'analyse du signal donne lieu au dénombrement des modes, contrôlé par des calculs d'accompagnement. La richesse des spectres obtenus, et le tableau des angles d'excitation caractérisent 3 types de fond, fluide, élastique, et stratifié, établis successivement dans le bassin.

SUMMARY

We present an applied method to the detection of propagating modes in an acoustic waveguide (which is reduced scale model of shallow water propagation). The results obtained, are in relationship with the nature of the reflecting bottom. This known method may be considered as a complement to methods already used, by its strong accuracy. It is based on Fourier analysis, and the apparent translation from the space domain to the time domain, by moving at constant speed the sensor in the sound field. The phase reference of the electrical signal taken from the source point out the wavenumbers as a suite of spatial frequencies. Then frequency analysis in relations with a numerical treatment, conducts to mode identification. Spectrums obtained quite different, and series of excitation angles allow modal characterization, for three types of the modelled ocean bottom: fluid, elastic, and stratified.

1. INTRODUCTION.

Nous présentons les résultats expérimentaux d'une étude destinée à dénombrer et à mesurer les angles d'excitation des modes d'un guide acoustique, modélisant sous paramètres réduits une propagation sous marine en peu profonde sur fonds fluide, rocheux, ou stratifiés.

Cette étude résulte de l'idée de relier le spectre angulaire des modes propagatifs, à la nature du fond réflecteur. Ce spectre détermine

le champ sonore dans la couche d'eau accessible aux mesures, mais sa complexité augmente rapidement lorsque on passe d'un fond fluide à un fond rocheux, puis stratifié.

La sélectivité des méthodes que nous avons expérimentées (1), (2), n'étant plus adaptée à notre recherche nous avons retenu l'idée connue (3) d'étudier comme un signal temporel le champ d'interférences des modes dans le plan horizontal. Par déplacement d'un capteur à vitesse constante et par référence à la pulsation de la



source on forme un signal , qui par analyse de Fourier donne une suite discrète de fréquences correspondant au séries calculées de modes excités dans le milieu (4).

2.PRESSION SONORE ET SIGNAL CAPTE

Dans l'eau le champ sonore loin de la source , peut se représenter par une somme de termes, ou modes (5) Chacun d'eux excitable sous un angle propre θ_n se caractérise par un nombre d'onde horizontal $k_n = k \sin \theta_n$, et vertical $\beta_n = k \cos \theta_n$, (où k est le nombre d'onde du milieu de célérité c , et ω la pulsation fixe de la source).

La pression sonore est proportionnelle à

$$\bar{p}(r, z, t) = P_0 \exp(-i\omega t) \sum_{n=1}^N (G_n / \sqrt{k_n r}) \sin(\beta_n z) \sin(\beta_n z_R) \exp[-i(k_n r + \pi/4) - \gamma_n r]$$

où r est la distance séparant le capteur de la source, et où z_R et z_S sont leur profondeur respective d'immersion, et enfin où G_n et γ_n représentent respectivement amplitude et amortissement du mode n .

Si l'on retient comme variable principale la distance r , la pression sonore s'écrit

$$\bar{p}(r) = P_0 \exp(-i\omega t) \sum_{n=1}^N B_n \exp[-i(k_n r + \pi/4)],$$

où B_n est l'excitation locale du mode n . Cette pression traduite par un capteur discret apparait comme la somme des contributions des nombres d'ondes k_n

$$\bar{V}_2 = B_1 \exp[-i(\omega t + k_1 r)] + B_2 \exp[-i(\omega t + k_2 r)] + \dots$$

dont on sait convertir le déphasage en signal électrique.

3.SIGNAL D'INTERFERENCE ET FREQUENCE SPATIALE DES MODES:

A l'aide d'un démodulateur vectoriel, dont la tension de référence est prise sur l'émetteur $\bar{V}_1 = A \exp(-i\omega t)$ on forme la composante réelle des déphasages de propagation

$$\bar{V}_3 = C_1 \cos(k_1 r) + C_2 \cos(k_2 r) + C_3 \cos(k_3 r) + \dots$$

où les facteurs C_n résultent de l'excitation locale du mode n , et de l'amplification du signal.

Si l'on déplace en champ lointain, le capteur à vitesse constante V , sur un domaine de r , tel que $r \gg \lambda$, le déphasage propre à chaque mode est $\varphi_n(r) = k_n r = 2\pi(r/\lambda_n)$.

Il devient par accroissement de la distance $r = Vt$, une fonction du temps $\varphi_n(t) = 2\pi(V/\lambda_n)t$,

dont la fréquence spatiale est $f_n = (V/\lambda_n)$.

Le changement de variable étant réalisé, nous pouvons appliquer le signal V_3 à un analyseur de fréquences.

4.FILTRAGE DES FREQUENCES SPATIALES .

L'équipement actuel du bassin, de 5m permet des explorations qui durent quelques centaines de secondes, selon le spécimen de fond mis en place. Ce

temps d'acquisition correspond pour l'appareil FFT hp 3582 A, à une largeur spectrale de 1Hz et une résolution de 0,004 Hz. Ce réglage couvre le domaine attendu des fréquences spatiales des modes, estimé à partir de la relation $f_n = V/\lambda_n = (VF/c_1)$, où F est la fréquence temporelle de la source et c_1 la célérité dans l'eau.

Nous reproduisons, ci après par les figures 1, 2, et 3, des exemples d'enregistrements du signal en (a), et en (b) du spectre qu'il a donné dans trois cas du fond réflecteur, à la fréquence de source de 80 KHz.

Les mesures se sont effectuées aux fréquences de 80 et 90 KHz, dans une hauteur d'eau de 60 mm, entre 0,5m et 1,7m des distances source-récepteur. Par changement des immersions de ces derniers, on a rempli les conditions d'excitation de tous les modes.

Les Tableaux 1,2,3,4 rapprochent les fréquences de raies des spectres, et les fréquences spatiales calculées avec les angles de modes théoriques. Ceux ci sont donnés par l'équation caractéristique, dépendante du coefficient de reflexion, et régissent par leur nombre et valeur le champ sonore (1). Les angles d'excitation de valeur inférieure à l'angle critique $\sin^{-1}(c_1/c_2)$, correspondent aux solutions graphiques supplémentaires de l'équation caractéristique visibles au dessous de 58° , figure 4 (4). L'énergie qui pénètre dans la couche de sable y entretient une propagation suivie d'une réémission des ondes sonores dans l'eau avec réfraction. Cette situation est illustrée par la figure 5, qui représente les fonctions modales dans les deux milieux fluides superposés tracées à l'aide du programme SNAP par le GERDSM. On a extrait de ces fonctions les nombres d'onde des deux milieux; les angles de propagation obtenus pour l'eau correspondent aux intersections de l'équation caractéristique, figure 4.

5.CONCLUSION.

La méthode employée ici se révèle donc efficace pour séparer et pour estimer en nombre, et en position les modes d'un guide acoustique, modèle réduit d'une propagation sous marine. Les fréquences spatiales isolées conduisent aux nombres d'ondes du milieu, et aux angles d'excitation vérifiés par le calcul. Chaque type de fond, fluide solide, ou stratifié donne lieu à un spectre et à une série numérique de fréquences qui le caractérisent. Enfin les moyens techniques de la méthode, qui semblent perfectibles permettent d'envisager de déterminer des paramètres du fond réflecteur.

Nous remercions Monsieur DUCHAUSSOY et le Groupe de la DRET du soutien de cette étude, ainsi que Monsieur ANCEY du GERDSM. Nous remercions Messieurs R.HOLTZER et M.OBADIA du LMA pour la réalisation des capteurs miniatures et des circuits nécessaires à ces mesures.

BIBLIOGRAPHIE :

- (1) GAZANHES C. et SESSAREGO J.P. //

- Revue du CETHEDEC, 48, 1976, p.95.
- (2) GARNIER J.L. et GAZANHES C. GRETSI, NICE Mai 1983, p.935.
- (3) GORSKAYA N.V. et al, SOV. PHYS. ACOUST. 27, (2), 1981, p.110.
- (4) CRISTINI P. et al, à paraître GRETSI, NICE Juin 1989.
- (5) OFFICER C.B. Introduction of the Theory of Sound Transmission, McGraw Hill, N.Y. 1958.

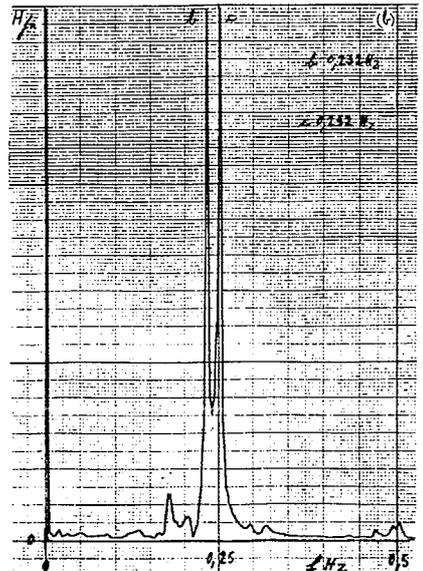
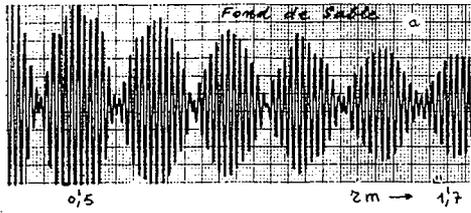


Figure 1. Fond de Sable, 2/3 des modes sont excités, 2/3 sont détectés, raies c, b.

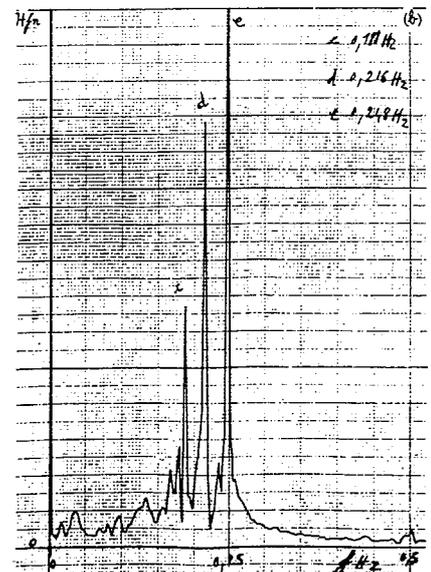
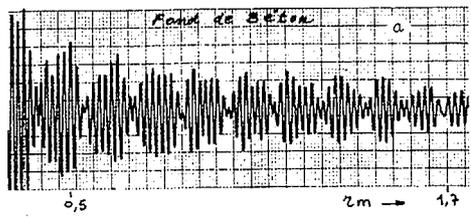


Figure 2. Fond de Béton, 3/5 des modes sont excités, 3/5 sont détectés, raies e, d, c.

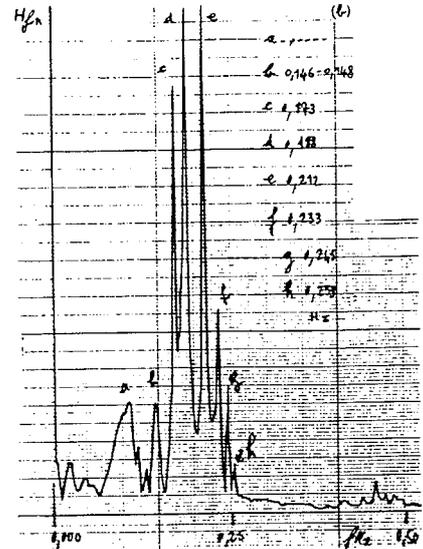
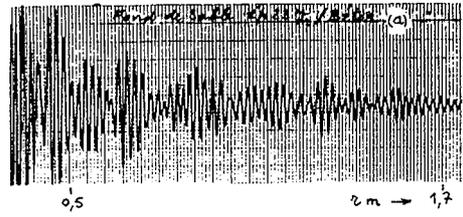


Figure 3. Fond stratifié: sable ép. 23mm / Béton, 7/7 des modes sont excités et détectés (le M1 est faible, raie h, la source étant en surface).

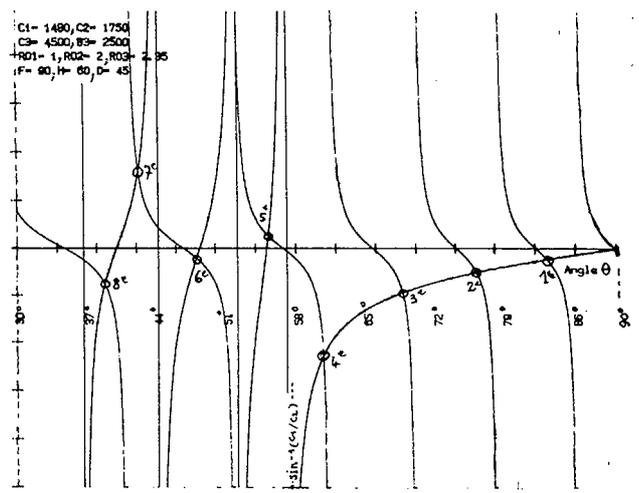


Figure 4. Tracés et intersections de l'équation caractéristique (4), pour H eau=60mm, sur sable ép.=45mm et sous-bassement de béton.

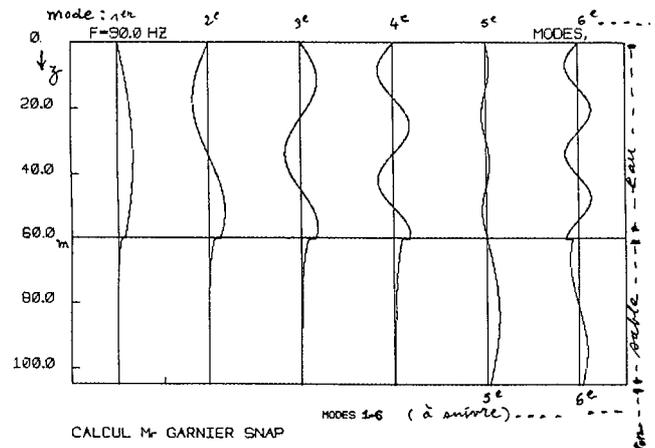


Figure 5. Fonctions modales de la profondeur, sous les paramètres de la fig. 4, tracées au GERDSM avec le programme SNAP. (à suivre)---

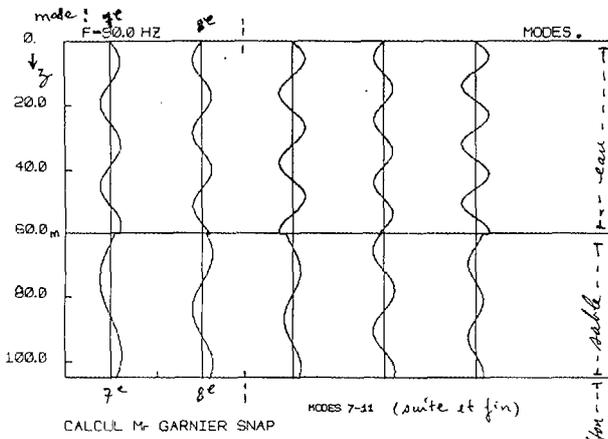


Figure 5. Fonctions modales de la profondeur, sous les paramètres de la fig.4, tracées au GERDSM avec le programme SNAP.

TABLEAUX :

TABLEAU 1 (80 Hz) :

n	θ_n théo. degrés	fn théo. Hz	fn exp. Hz	
1	82,4	0,251	0,252	S A B L E
2	74,5	0,244	0,244	
3	66,0	0,231	0,232	
1	78,5	0,248	0,248	B E T O N
2	68,6	0,236	0,236	
3	58,5	0,216	0,216	
4	47,8	0,188	0,188	
5	39,8	0,162	0,160	
1	82,4	0,251	(0,253)	S A B L E e. 2 3 m / B E T O N
2	74,5	0,244	0,245	
3	65,9	0,232	0,233	
4	θ_c 56,8	0,212	0,212	
5	48,0	0,189	0,188	
6	43,3	0,174	0,173	
7	36	0,149	0,146	

eau $c_1=1488$; sable $c_2=1750$; béton $c_3=4500$
 $c_{T3}=2500 \text{ ms}^{-1}$; $d_1=1$; $d_2=2$; $d_3=2,35$.
 $V \text{ capteur} = 0,004717 \text{ m s}^{-1}$.

TABLEAU 2 (90 KHz) :

Fonds homogènes

n	θ_n théo. degrés	fn théo. Hz	fn exp. Hz	
1	83,3	0,284	0,284	S A B L E
2	76,4	0,278	0,280	
3	69,0	0,267	0,268	
4	61,2	0,251	0,248	
1	80,0	0,283	0,284	B E T O N
2	71,3	0,272	0,272	
3	62,4	0,254	0,256	
4	53,3	0,230	0,232	
5	43,8	0,199	0,196	
6	38,0	0,177	

TABLEAU 3 (90 KHz) :

Fonds stratifiés

n	θ_n théo. degrés	fn théo. Hz	fn exp. Hz	
1	83,3	0,284	0,286	S A B L E
2	76,4	0,278	0,280	
3	69,0	0,267	0,268	
4	61,1	0,251	0,248	
5	θ_c 53,0	0,229	0,224	
6	47,6	0,211	0,212	
7	41,7	0,190	0,180	
1	83,3	0,284	0,286	S A B L E e. 4 5 m / B E T O N
2	76,4	0,278	0,280	
3	69,0	0,267	0,268	
4	61,2	0,251	0,252	
5	θ_c 55,5	0,236	0,226	
6	48,6	0,215	(0,212)	
7	43,0	0,195	0,190	
8	39,6	0,182	0,174	

eau $c_1=1480$; sable $c_2=1750$; béton $c_3=4500$
 $c_{T3}=2500 \text{ ms}^{-1}$; $d_1=1$; $d_2=2$; $d_3=2,35$.
 $V \text{ capteur} = 0,004717 \text{ m s}^{-1}$.