

# HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 1<sup>er</sup> au 5 JUIN 1981

---

TRANSMISSION SUR MODE UNIQUE DANS UNE PROPAGATION PAR PETITS FONDS  
MARINS  
SINGLE MODE TRANSMISSION IN SHALLOW WATER PROPAGATION

C. GAZANHES et J.L. GARNIER

Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique - CNRS - B.P. 71 - 13277 MARSEILLE cedex 9.

---

## RESUME

Dans une propagation acoustique par petits fonds marins, on utilise la théorie des modes pour développer une méthode permettant d'exciter un mode unique au moyen d'un réseau vertical de sources. On a réalisé des expériences sur un modèle réduit en cuve acoustique. L'excitation d'un mode unique est réalisée au moyen d'un réseau de 15 transducteurs piézoélectriques dont le gain et la polarité dépendent du mode à exciter. On étudie la propagation du mode unique entre le réseau émetteur et un réseau récepteur. Ce dernier peut filtrer 5 modes simultanément. Dans ces conditions, on peut étudier l'intermodulation entre modes et la conversion de modes.

## SUMMARY

The normal mode theory for shallow water propagation is used to develop a method permitting the excitation of a single mode by means of a vertical array of sources. The experiments were carried out in a laboratory tank, in a thin layer of water lying on a thick sand bed. Single mode excitation was performed by a vertical array of 15 piezoelectric transducers, whose gain and polarity depend on the mode to be excited. Single mode propagation between a source array and a receiving array is also examined. The cross-talk between mode and mode conversion can be studied.



TRANSMISSION SUR MODE UNIQUE DANS UNE PROPAGATION PAR PETITS FONDS MARINS  
MARINS  
SINGLE MODE TRANSMISSION IN SHALLOW WATER PROPAGATION

1 - INTRODUCTION

La théorie des modes normaux permet d'interpréter les phénomènes de propagation acoustique par petits fonds marins. Elle montre que le champ acoustique total est composé d'une somme discrète de modes

$$(1) \quad \Phi^{(1,2)} = \sum_n \Phi_n^{(1,2)}$$

avec

$$(2) \quad \Phi_n^{(1,2)} = R_n(r) Z_n^{(1)}(z_s) Z_n^{(2)}(z)$$

Sous certaines conditions [1] les fonctions de la profondeur  $Z_n(z)$  sont orthogonales. A partir de ce résultat, on a développé un réseau de récepteurs convenablement pondérés qui permet de sélectionner un mode de propagation parmi tous les modes présents dans le milieu [2]. La sortie du réseau récepteur est proportionnelle à la fonction :

$$(3) \quad I = i\omega \rho_1 \eta \sqrt{\frac{2}{\pi r}} \frac{A_m}{\sqrt{k_n}} e^{-i(k_n r + \frac{\pi}{4} - \omega t)} Z_n^{(1)}(z_s) = S_n(r, z_s, t)$$

Si la distance  $r$  entre une source ponctuelle et le réseau récepteur est fixe et si l'immersion  $z_s$  de la source est modifiée, alors (3) donne la distribution verticale du mode  $Z_n(z_s) = \sin(\beta_{1n} z_s)$   $\beta_{1n}$  étant le nombre d'onde vertical.

A cause de la symétrie du problème, l'excitation d'un mode unique peut être obtenue par les mêmes techniques en utilisant un réseau de sources convenablement pondérées [3]. La pression acoustique captée par un récepteur ponctuel sera alors proportionnelle à :

$$(4) \quad I = i\omega \rho_1 \eta \sqrt{\frac{2}{\pi r}} \frac{A_m}{\sqrt{k_n}} e^{-i(k_n r + \frac{\pi}{4} - \omega t)} Z_n^{(2)}(z) = S_n(r, z, t)$$

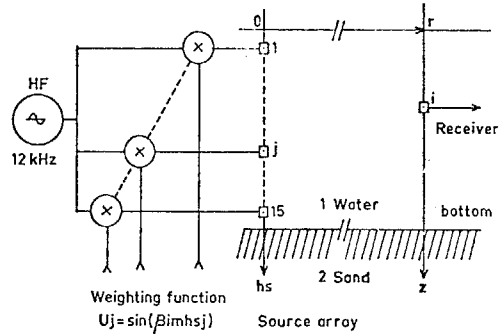
II - PROPAGATION D'UN MODE UNIQUE

L'excitation d'un mode unique est basée sur la relation (4). L'émetteur est constitué par un réseau vertical de  $L$  sources également réparties suivant l'immersion  $z$  (figure 1). Pour un mode  $P_n$  déterminé la pression reçue sur un récepteur  $i$  est la somme des pressions émises par chaque source  $j$ , soit :

$$(5) \quad P_n = \frac{A_n^2}{\sqrt{k_n r}} e^{-r(\gamma_n + i\varphi_n)} \sin(\beta_{1n} z_i) \sum_{j=1}^L \sin(\beta_{1n} z_j)$$

$$\varphi_n = k_n r + \pi/4$$

Avec ;



- Figure 1 -

Chaque source  $j$  étant pondérée par une tension proportionnelle à la fonction de la profondeur  $Z(z_j)$  du mode à exciter, c'est à dire pour

$$u_j = \sin(\beta_{1m} z_j)$$

la pression  $P$  reçue sur le récepteur  $i$  sera :

$$(6) \quad P = \frac{A_n^2}{\sqrt{k_n r}} e^{-r(\gamma_n + i\varphi_n)} \sin(\beta_{1n} z_i) \sum_{j=1}^L \sin(\beta_{1n} z_j) \sin(\beta_{1m} z_j)$$

et pour N modes :

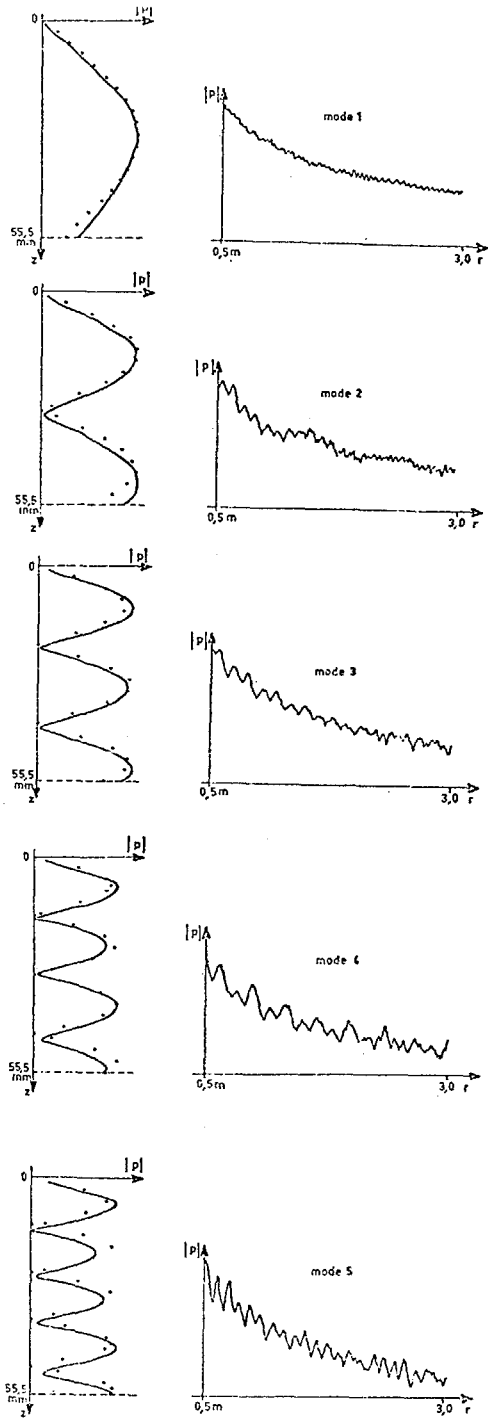
$$(7) \quad P_n = \sin(\beta_{1n} z_i) \frac{A_n^2}{\sqrt{k_n r}} e^{-r(\gamma_n + i\varphi_n)} \sum_{j=1}^L \sin(\beta_{1n} z_j) \sin(\beta_{1m} z_j) + \sum_{\substack{n=1 \\ (n \neq m)}}^N \sin(\beta_{1n} z_i) \frac{A_n^2}{\sqrt{k_n r}} e^{-r(\gamma_n + i\varphi_n)} \sum_{j=1}^L \sin(\beta_{1n} z_j) \sin(\beta_{1m} z_j)$$

Dans cette expression, le premier terme correspond à l'excitation du mode unique  $m = n$  ; le deuxième correspond aux modes faiblement excités  $m \neq n$ . Le deuxième terme est faible devant le premier de sorte que si l'on déplace verticalement le récepteur  $i$ , le premier terme donne la distribution verticale du mode  $m$ . De même si l'immersion du récepteur est fixe et si l'on modifie la distance  $r$  entre le récepteur et l'émetteur, le premier terme de (7) correspond à la distribution horizontale du mode  $m$ .

Nous avons fait des relevés expérimentaux dans une cuve acoustique de 5m de long sur 2m de large. La propagation s'effectue dans une lame d'eau d'épaisseur 57 mm reposant sur un fond de sable. La fréquence de travail est de 124 kHz. L'émetteur est un réseau vertical de 15 transducteurs piézoélectriques dont le gain et la polarité dépendent du mode que l'on désire filtrer. Le modèle permet d'exciter 5 modes simultanément.

La figure 2 montre les résultats obtenus quand pour une distance émetteur-récepteur fixe, on déplace verticalement le récepteur. On obtient la distribution verticale du mode que l'on a excité.

TRANSMISSION SUR MODE UNIQUE DANS UNE PROPAGATION PAR PETITS FONDS MARINS  
SINGLE MODE TRANSMISSION IN SHALLOW WATER PROPAGATION



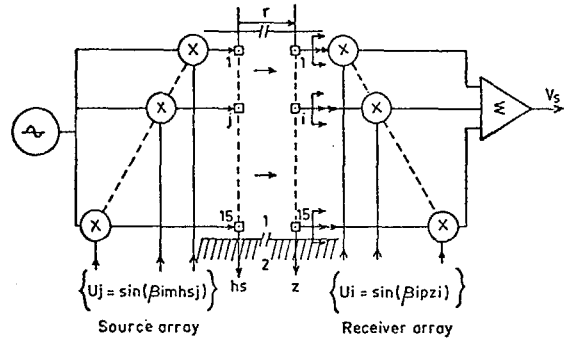
- Figure 2 -

De même, pour une immersion constante du récepteur, si l'on modifie la distance  $r$  émetteur-récepteur, on obtient la distribution horizontale du mode unique. Dans ce dernier cas, les oscillations que l'on observe sont dues au deuxième terme de l'expression (7). Il représente l'interférence entre le mode filtré  $m$  et les modes résiduels  $m \neq n$ .

Les oscillations augmentent avec l'ordre du mode filtré, ce qui montre que l'échantillonnage spatial devient insuffisant.

III - TRANSMISSION D'UN MODE UNIQUE AVEC FILTRAGE A LA RECEPTION

La transmission du mode unique est améliorée si l'on filtre également à la réception. Pour cela, le récepteur ponctuel est remplacé par un réseau vertical de récepteurs convenablement pondérés. (Figure 3)



- Figure 3 -

La réception sélective des modes est basée sur la relation (3). Chaque transducteur étant pondéré par les valeurs  $u_i = \sin(\beta_{ip} z_i)$  du mode d'ordre  $p$  sur le  $i$ ème récepteur.

Le signal reçu est la somme des sorties de chaque récepteur, chaque sortie étant elle-même la somme des signaux émis par chaque source du réseau émetteur. Le signal reçu est donc proportionnel à :

$$V_s = \sum_{i=1}^L \sin(\beta_{ip} z_i) \sum_{n=1}^N \sin(\beta_{in} z_i) \frac{A_n^2}{\sqrt{R_n^p}} e^{-r(\alpha_n + i\varphi_n)} \times \sum_{j=1}^L \sin(\beta_{jn} z_j) \sin(\beta_{jm} z_j) \quad (8)$$

La somme  $\sum_{i=1}^L$  est réalisée par voie électronique. L'expression (8) s'écrit encore :

$$V_s = \sum_n \left\{ \sin^2(\beta_{in} z_i) \frac{A_n^2}{\sqrt{R_n^p}} e^{-r(\alpha_n + i\varphi_n)} \sum_j \sin^2(\beta_{jn} z_j) + \sin(\beta_{in} z_i) \sum_{\substack{n \neq m \\ (n \neq m)}} \sin(\beta_{in} z_i) \frac{A_n^2}{\sqrt{R_n^p}} e^{-r(\alpha_n + i\varphi_n)} \sum_j \sin(\beta_{jn} z_j) \sin(\beta_{jm} z_j) \right\} \quad (9)$$

Avec la condition  $z_i = z_j$  le premier terme de (9) est proportionnel au carré de  $\sum_j \sin(\beta_{jn} z_j)$  et le deuxième terme au carré de

$$\sum_j \sin(\beta_{jn} z_j) \sin(\beta_{jm} z_j)$$

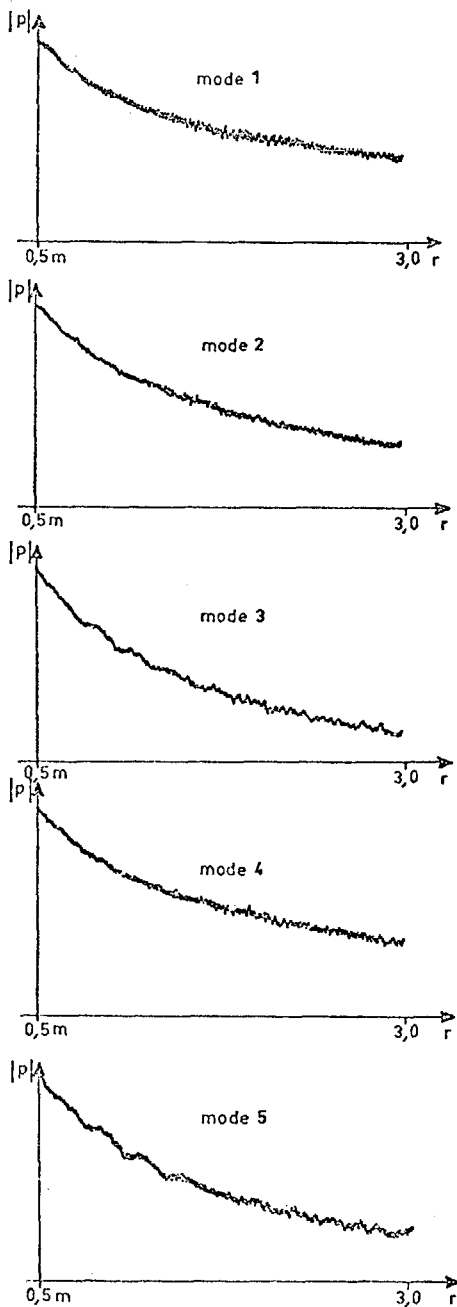


TRANSMISSION SUR MODE UNIQUE DANS UNE PROPAGATION PAR PETITS FONDS MARINS  
SINGLE MODE TRANSMISSION IN SHALLOW WATER PROPAGATION

Puisque

$$\sum_j \sin(\beta z_j) < \sum_j \sin(\beta_{1m} z_j) \sin(\beta_{1n} z_j)$$

la sélectivité des modes est augmentée et il n'y a pratiquement plus d'oscillation sur les relevés longitudinaux des modes (Figure 4).



- Figure 4 -

IV - INTERFERENCES DE MODES

On a mesuré l'intermodulation entre les modes lorsque le réseau émetteur est excité sur un mode donné m et lorsque le réseau récepteur est réglé pour filtrer un mode différent p. L'émetteur est pondéré par les valeurs  $u_j \sin(\beta_{1m} z_j)$  et le récepteur par les valeurs  $u_i = \sin(\beta_{1p} z_i)$ . Le signal reçu s'écrit alors :

$$(10) \quad V_s = \sum_i \left\{ \sin(\beta_{1p} z_i) \sin(\beta_{1m} z_i) \frac{A_m^2}{\sqrt{k_n r}} e^{-r(\alpha_n + i\varphi_n)} \sum_j \sin^2(\beta_{1m} z_j) \right. \\ + \sin^2(\beta_{1n} z_i) \frac{A_n^2}{\sqrt{k_n r}} e^{-r(\alpha_n + i\varphi_n)} \sum_j \sin(\beta_{1n} z_j) \sin(\beta_{1m} z_j) \\ \left. + \sin(\beta_{1p} z_i) \sum_n \left( \sin(\beta_{1n} z_i) \frac{A_n^2}{\sqrt{k_n r}} e^{-r(\alpha_n + i\varphi_n)} \sum_j \sin(\beta_{1n} z_j) \sin(\beta_{1m} z_j) \right) \right\}$$

Le premier terme représente l'intermodulation correspondant à la réception du mode excité m sur le récepteur réglé pour recevoir le mode p.

Le deuxième terme prend en compte la transmission du mode n faiblement excité quand le récepteur est réglé pour recevoir le même mode n = p.

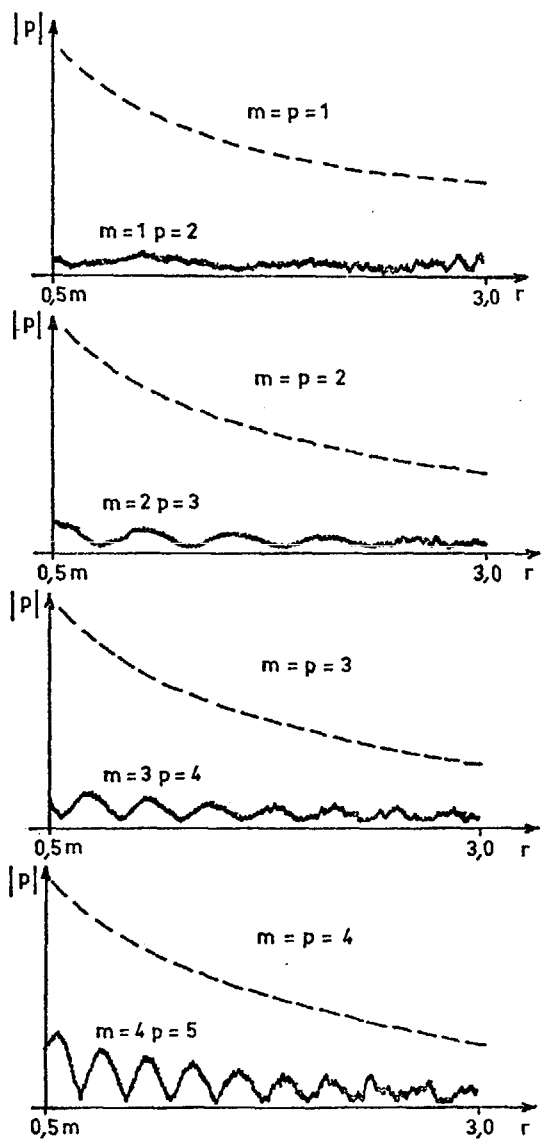
Enfin, le troisième terme correspond à l'intermodulation de tous les modes tels que n ≠ p ≠ m. Ces modes étant faiblement excités, il en résulte que la contribution de ce troisième terme est très faible et peut être négligée.

La figure 5 représente la tension de sortie du récepteur en fonction de la distance r à l'émetteur. Les oscillations que l'on observe correspondent aux interférences des modes entre le premier et le deuxième terme. Les maxima ou minima successifs sont espacés de :

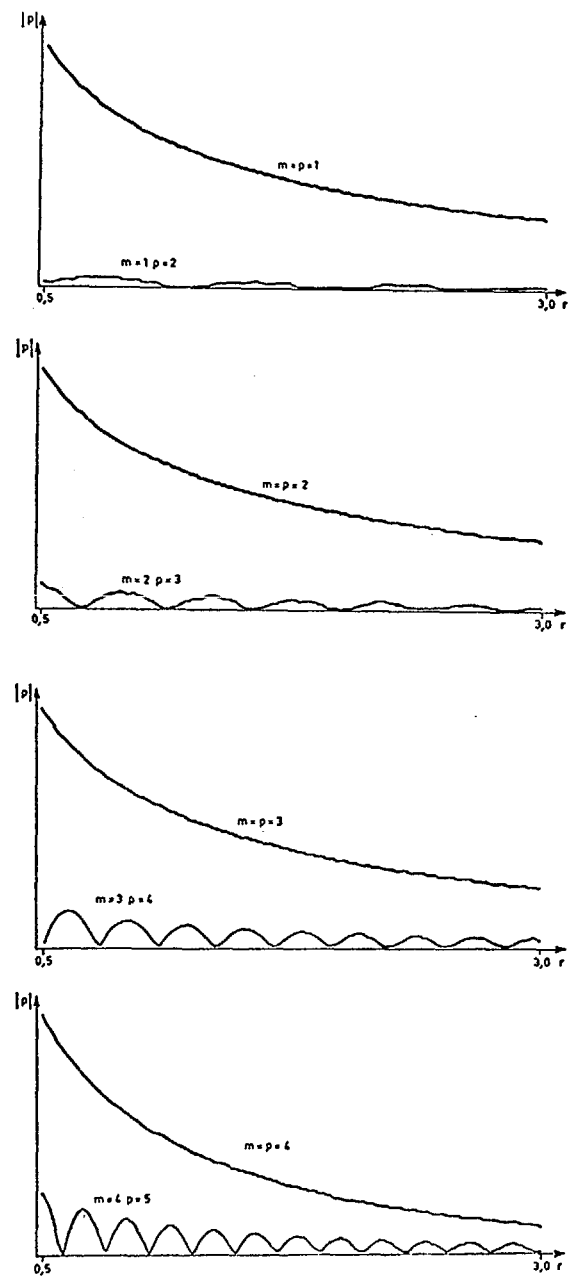
$$\Lambda_{m-p} = 2\pi / (k_m - k_p)$$

La figure 6 représente les courbes théoriques correspondant à la propagation et au filtrage du mode unique (m = p = n) et aux interférences de modes (m = n ≠ p).

TRANSMISSION SUR MODE UNIQUE DANS UNE PROPAGATION PAR PETITS FONDS MARINS  
SINGLE MODE TRANSMISSION IN SHALLOW WATER PROPAGATION



- Figure 5 -



- Figure 6 -



TRANSMISSION SUR MODE UNIQUE DANS UNE PROPAGATION PAR PETITS FONDS  
MARINS  
SINGLE MODE TRANSMISSION IN SHALLOW WATER PROPAGATION

---

V - CONCLUSION

La méthode que nous avons développée permet l'étude de la transmission d'un mode unique. Les relevés verticaux et transversaux du champ acoustique sont en bon accord avec la théorie.

Le dispositif expérimental est capable de filtrer cinq modes à la fois. Il devient alors possible d'étudier la conversion de modes provoquée par les irrégularités du milieu, fond et surface et par des objets immergés.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 C. GAZANHES, J.P. SESSAREGO, J.L. GARNIER,  
Identification de modes dans une propagation par  
petits fonds marins,  
6ème Colloque sur le Traitement du Signal et ses  
Applications, Nice, avril 1977, (12/1-12/5).
- 2 C. GAZANHES, J.L. GARNIER, J.P. SESSAREGO,  
Beam forming and frequency dependence of mode  
identification in shallow water propagation,  
J. Sound and Vib., 65, 165-176, (1979).
- 3 C. GAZANHES, J.L. GARNIER,  
Experiments on single mode excitation in  
shallow water propagation,  
J. Acoust. Soc. Am., à paraître dans le volume  
69, (1981).

Cette étude est soutenue par la Direction des  
Recherches et Etudes Techniques que nous remercions  
pour son appui.