

SEPTIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 28 MAI au 2 JUIN 1979

APPLICATION D'UNE ANTENNE PARAMETRIQUE
A L'ETUDE DE LA TRANSMISSION EN EAU PEU PROFONDE
A SHALLOW WATER PROPAGATION STUDY APPLICATION
OF THE PARAMETRIC ARRAY

Philippe de Heering

SACLANTCEN, La-Spezia, Italie

RESUME

L'antenne paramétrique présente certains avantages pour les études de la propagation, notamment par petits fonds.

On présente ici des résultats expérimentaux d'une telle étude obtenus dans le port de La Spezia (Italie). Parmi les avantages qui sont mis en évidence, on peut citer :

- (1) Une grande directivité et l'absence de lobes secondaires,
- (2) La possibilité de travailler en bande large,
- (3) La sélection aisée des angles de site et de gisement à l'émetteur.

Il en résulte que, par un choix judicieux des paramètres de la transmission, on peut obtenir des réponses du canal bien moins dispersées en retard et en fréquence qu'avec une antenne classique de même dimension.

On donne également une interprétation des résultats expérimentaux suivant la théorie des modes de propagation.

SUMMARY

The parametric arrays offer certain advantages for the propagation studies, in particular in shallow waters.

Experimental results of such a study are presented, that have been obtained in the La Spezia harbour. Some of the advantages of the parametric transmission are as follows :

- (1) A high directivity index and the absence of sidelobes;
- (2) Wide band capability;
- (3) Easy selection of grazing and bearing angles at the transmitter.

It follows that, for an appropriate choice of the transmission parameters, the propagation channel can be significantly less spread in time and frequency than would be the case if a direct transmission was used from the same aperture.

A qualitative interpretation of the experimental results is also presented, on the basis of a normal modes propagation model.



APPLICATION D'UNE ANTENNE PARAMETRIQUE
A L'ETUDE DE LA TRANSMISSION EN EAU PEU PROFONDE

1. INTRODUCTION

Le travail ici décrit porte sur l'étude d'un canal de propagation situé dans le port de La Spezia (Italie). Le but de l'étude est double :

1) Montrer l'avantage éventuel de l'émission paramétrique sur l'émission directe en ce qui concerne la dispersion en temps et fréquence du canal de propagation,

2) Déterminer l'utilité d'une antenne paramétrique en ce qui concerne la compréhension détaillée de la propagation dans un canal donné.

2. L'EMISSION PARAMETRIQUE & LA PROPAGATION

L'effet paramétrique dans l'émission du son fut postulé par Westerfeld [1]. De nombreux chercheurs, notamment Odéro [3] et Moffet et Mellen [4] ont étudié le rendement et la directivité obtenus lors de l'émission paramétrique. La figure 1 [5] représente la directivité de l'antenne que nous avons utilisée [6] pour les expériences ici décrites à un niveau de crête de 2 kW électriques à 120 kHz de fréquence primaire, pour une fréquence secondaire de 4 kHz et à une distance de 500 m de la source. La largeur du faisceau entre les points à - 3 dB est d'environ 4°, obtenus avec une ouverture de 75 cm soit deux longueurs d'onde à 4 kHz seulement.

La possibilité d'utiliser les caractéristiques spécifiques de l'émission paramétrique afin d'améliorer la propagation dans un canal a été étudiée notamment par Konrad [10] et Muir et al [2]. Ces derniers rapportent des résultats théoriques et expérimentaux concernant l'excitation sélective du premier mode normal de propagation par une émission paramétrique, d'abord dans un bassin de quelques centimètres de profondeur, et ensuite dans une lagune à fond de sable d'un mètre et demi de profondeur. Les auteurs montrent que ce type d'excitation a une influence très favorable sur les caractéristiques du canal.

Les expériences qui sont ici rapportées se distinguent des précédentes en ce qu'elles étudient quantitativement les caractéristiques de variabilité temporelle du signal reçu dans un canal de propagation peu profond en milieu marin à peu près naturel. Elles mettent également en évidence l'excitation sélective d'un mode de propagation autre que le premier.

3. CONDITIONS & MOYENS EXPERIMENTAUX

Le transducteur d'émission est placé sur un treillis (Figure 2) d'acier d'une hauteur de 10 m. Il est réglable en immersion, en site et en gisement. La figure 3 montre la configuration expérimentale. Le signal primaire est généré au laboratoire et arrive par 250 m de câble au transducteur d'émission. Durant ces essais, l'immersion du transducteur était constante à 5 m tandis que les angles en étaient contrôlés par des plongeurs. Le signal est reçu à une distance de 700 m par un réseau de trois hydrophones formant un large lobe en direction de l'émetteur. Le canal de propagation est de profondeur rapidement variable où le profil de célérité de l'eau est presque uniforme, tandis que la vase et le sable ont des vitesses de propagation de respectivement 96 % et 108 % de celle dans l'eau.

La conduite de telles expériences dans un port à proximité du laboratoire de recherches présente l'avantage que les moyens à mettre en oeuvre pour la conduite des essais sont beaucoup plus réduits et qu'on peut opérer en toute condition météorologique. Les désavantages en sont qu'on n'a pas le choix du canal de propagation (celui auquel on a affaire ici est trop compliqué pour se prêter à une modélisation précise sur ordinateur et ne se prête pas parfaitement à la mise en évidence des effets spécifiques dus à l'émission en faisceau étroit) et que le bruit ambiant est très élevé et variable en raison de l'activité portuaire.

Les essais dont les résultats sont décrits ci-dessous se sont déroulés du 14 au 17 novembre 1978. Les fréquences secondaires d'émission utilisées étaient de 2,4 et 8 kHz. Seuls les résultats à 4 kHz sont rapportés ici.

4. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Le résultat principal de cette étude est la démonstration expérimentale des avantages de la transmission paramétrique par rapport à la transmission directe, pour une même dimension du transducteur.

Nous illustrons ce point en comparant 4 séries de 128 impulsions chacune dont les paramètres principaux sont donnés au tableau qui suit, qui donne aussi les numéros des figures qui s'y rapportent.

APPLICATION D'UNE ANTENNE PARAMETRIQUE
A L'ETUDE DE LA TRANSMISSION EN EAU PEU PROFONDE

PARAMETRES COMMUNS :	Impulsions sinusoïdales				
	Fréquence : 4 kHz				
	Nombre d'impulsions : 128				
	Cadence : 1 impulsion par seconde				
	Distance : 700 m				
	Mer : force 0-1				
PARAMETRES VARIABLES :	N° de la série	23	24	29	30
	Emission	PARAMETRIQUE		DIRECTE	
	Durée (ms)	3	1	3	1
	Site	- 4°	- 4°	0°	0°
	Largeur du faisceau à -3dB	4°	4°	30°	30°
FIGURES	Impulsions individuelles	4		5	
	Enveloppe de la moyenne		6		7
	Fonction de dispersion	8	9	10	11

Les figures 4 et 5 représentent respectivement 60 impulsions des séries 23 et 29. Ces figures donnent l'enveloppe (en amplitude) du signal reçu. On peut y constater les fluctuations et l'allongement des impulsions directes par rapport aux impulsions paramétriques. Ces deux effets paraissent être causés par des arrivées multiples dont la phase relative fluctue dans le temps.

L'aspect temporel du signal reçu est mieux mis en évidence par les figures 6 (paramétrique) et 7 (directe), où on a fait la moyenne des 128 impulsions de la série suivie de l'extraction de son enveloppe réelle en passant par la transformée de Hilbert. Ces figures, où la résolution temporelle est de l'ordre de la milliseconde, montrent que les arrivées multiples résolues sont plus basses d'environ 20 dB dans la transmission paramétrique que dans la transmission directe.

Il faut remarquer ici qu'il n'est fait nulle part usage du filtrage adapté car les impulsions transmises ont un produit temps-fréquence égal à l'unité et le filtrage adapté diminuerait ici la résolution temporelle. Au lieu de cela, on fait usage d'un filtre passe-bande en fenêtre de Hanning (Figs. 6 et 7) ou en \sin^2 (Figs. 8 à 11), d'une largeur de 3 kHz à -3 dB.

Les figures 8 à 11 montrent les fonctions de dispersion des séries 23, 24, 29 et 30. Ces fonctions de dispersion ont été calculées sur le système de traitement du signal du SACLANTCEN "WARP 1" qui utilise un processeur matriciel CSPI MAP-300 [7,8]. En comparant les fonctions de dispersion des séries "paramétriques" à celles des séries "directes", on constate un élargissement en fréquence et en délai notablement plus important dans ces dernières.

Enfin, la figure 12 montre la réponse temporelle du canal de transmission en fonction de l'angle de site du transducteur d'émission. Le calcul est analogue à celui qui conduit aux figures 6 et 7 et porte sur des séries de 128 impulsions paramétriques de 1 ms transmises à la cadence d'une impulsion par seconde. La figure montre la variation de l'amplitude de l'arrivée principale en fonction du site de l'émetteur. L'amplitude et le délai des autres arrivées varient aussi en fonction du même paramètre.

Il convient de remarquer que même dans la transmission directe l'allongement dans le temps et de l'élargissement en fréquence du signal reçu sont relativement peu importants. Ceci est presque certainement dû aux caractéristiques du canal de transmission où le fond de vase absorbe très rapidement les modes d'indice supérieur à celui du premier mode qui se propage dans l'eau.

Les avantages spécifiques de la transmission paramétriques seraient mieux mis en évidence dans un canal de propagation à fond non pas absorbant mais réfléchissant. Ce dernier cas, qui correspond d'ailleurs à la situation traitée dans [2], fera l'objet d'un futur essai en mer.

5. INTERPRETATION DES RESULTATS

Le profil du canal de propagation acoustique variant rapidement avec la distance, il est impossible de le modéliser correctement au moyen de programmes de propagation en modes normaux existants.

L'interprétation des différences qui existent entre les séries paramétriques et directes est donc faite ici d'une façon qualitative. On considère le canal de propagation simplifié de la figure 13 excité en onde sinusoïdale et dont le profil de célérité (Fig. 14) est semblable à ceux relevés expérimentalement. L'application d'un modèle de propagation en modes normaux [9] donne ici les résultats suivants :

(1) Modes normaux du canal (Fig. 15) : les cinq premiers sont évanescents dans l'eau.

(2) Perte de transmission émetteur-récepteur en fonction de l'angle de rasance à l'émetteur (Fig. 16) : on y voit notamment que le mode n° 7 est peu excité vu que l'émetteur est voisin d'un zéro de sa signature.



APPLICATION D'UNE ANTENNE PARAMÉTRIQUE
A L'ETUDE DE LA TRANSMISSION EN EAU PEU PROFONDE

(3) Considérons deux faisceaux idéalisant les faisceaux réels : émission uniforme de toute la puissance entre les sites ($- 2^\circ$, $+ 2^\circ$) pour le paramétrique et ($- 15^\circ$, $+ 15^\circ$) pour le direct. Les modes excités par ces faisceaux sont déduits de la figure 16, et donnent lieu aux pertes de propagation par addition cohérente de modes données à la figure 17.

Cette dernière figure présente des gradients bien plus élevés pour le faisceau large que pour le faisceau étroit, notamment au voisinage de l'émetteur, c'est-à-dire là où les modes d'indice (et d'angle de rasance) élevé sont peu absorbés par le fond de vase. Cette même différence existe entre les autres caractéristiques de la transmission qu'on peut déduire de ce modèle de propagation : niveau reçu en fonction de la profondeur notamment.

De cette modélisation nous pouvons conclure qu'une cause vraisemblable de l'élargissement relatif en fréquence et en retard des impulsions directes par rapport aux impulsions paramétriques est que ces dernières sont portées par un nombre plus restreint de modes normaux et probablement ceux qui ont une interaction moindre avec les limites du canal.

Une interprétation plus rigoureuse des variations observées ne pourrait se baser que sur des expériences dans un canal plus "modélisable", expériences qui sont d'ailleurs en préparation.

6. CONCLUSIONS

Nous avons montré expérimentalement comment l'émission paramétrique à faisceau étroit dans un chenal peu profond peut conduire à exciter sélectivement un nombre restreint de modes (un, à la limite) dans un canal de propagation, ce qui donne lieu à une dispersion notablement moindre en retard et en fréquence du signal reçu, que dans le cas de l'excitation en faisceau large.

Les applications possibles de ce travail incluent à la fois une amélioration de la qualité du canal de transmission en ce qui concerne la transmission de données mais aussi le développement d'un outil utile à l'étude de certains aspects de la propagation tels la conversion des modes.

La réalisation et l'analyse des essais décrits ci-dessus s'est faite grâce à la collaboration des

services techniques du SACLANTCEN et de la Marine Italienne.

BIBLIOGRAPHIE ET NOTES

- [1] WESTERVELT, P.J. Parametric acoustic array. *J. Acoustical Society America* 35, 1963: 535-537.
- [2] MUIR, T.G. and CLYNCH, J.R. Propagation of parametric waves in shallow water. In: Institute of acoustics, underwater acoustics group. Recent development in underwater acoustics, proceedings of a conference held at AUWE, Portland, 31 March-1 April 1976. Birmingham, G.B., Université de Birmingham, 1976 : 4.2.1-4.2.9.
- [3] ODERO, D. Rendement et directivité d'une antenne paramétrique émettrice. 6e colloque sur le traitement du signal et ses applications (GRETSI) Nice 26-30 avril 1977.
- [4] MELLEN, R.H. and MOFFET, M.B. A numerical method for calculating the nearfield of a parametric acoustic source. *J. Acoustical Society America* 63: 1622 (L).
- [5] MOFFET, M.B. U.S. Naval Underwater Systems Centre, New London, Conn. U.S.A. Communication privée.
- [6] Ce transducteur, fabriqué par la firme EDO Western (U.S.A.) est prêté au SACLANTCEN par le U.S. Naval Underwater Systems Centre, New London, Conn. U.S.A.
- [7] VAN DEN HOVEN, H.W.J. Real time processing of spreading functions with CSPI MAP-300 array processor. Memorandum interne du SACLANTCEN, septembre 1978.
- [8] SEYNAEVE, R., NESFIELD, P.A.J. Real time spreading function processing. Memorandum technique du SACLANTCEN (en préparation) La Spezia, Italie.
- [9] JENSEN, F.B. and FERLA, M.C. SNAP: The SACLANTCEN normal-mode acoustic propagation model. Memorandum technique du SACLANTCEN SM-121, 15 janvier 1979, La Spezia, Italie.
- [10] KONRAD, W.L. Underwater acoustic television transmission via the parametric source: Communication présentée à la 92ième réunion de la Acoustical Society of America, San Diego, California 15-19 novembre 1976.

**APPLICATION D'UNE ANTENNE PARAMETRIQUE
A L'ETUDE DE LA TRANSMISSION EN EAU PEU PROFONDE
A SHALLOW WATER PROPAGATION STUDY APPLICATION
OF THE PARAMETRIC ARRAY**

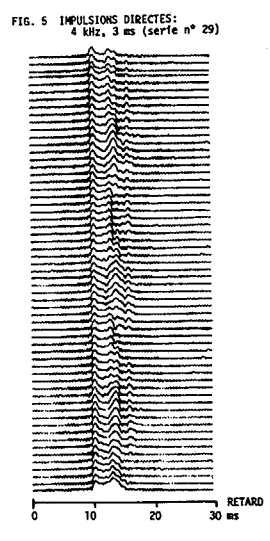
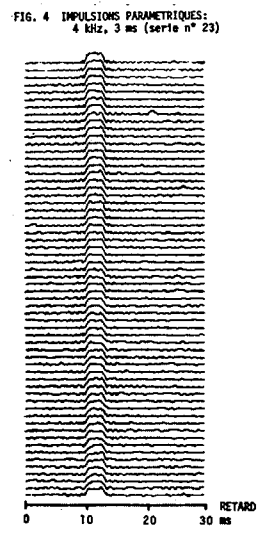
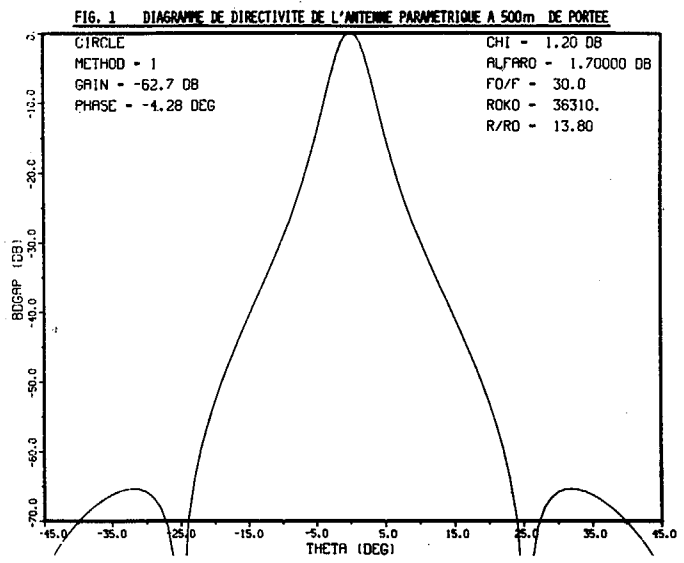
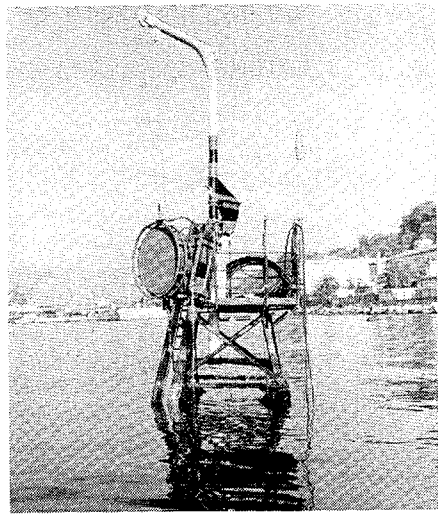
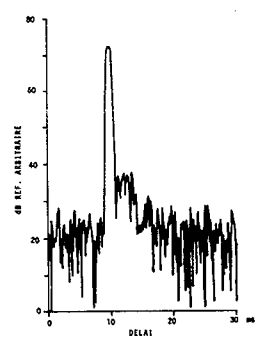


FIG. 2 LE TREILLIS D'EMISSION



**FIG. 6 ENVELOPPE DE LA MOYENNE DES IMPULSIONS (PARAMETRIQUES)
DE LA SERIE 24 : 4 kHz, 3 ms, SITE - 4°**



**FIG. 7 ENVELOPPE DE LA MOYENNE DES IMPULSIONS (DIRECTES)
DE LA SERIE 30 : 4 kHz, 3 ms**

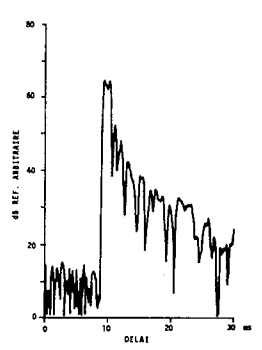


FIG. 8 FONCTION DE DISPERSION DE LA SERIE N° 23 : 4 kHz, 3ms, PARAMETRIQUE

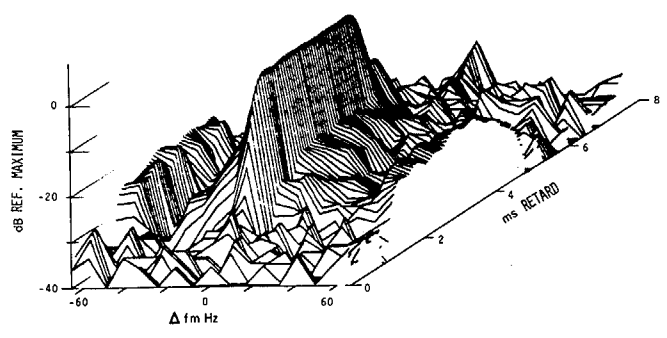


FIG. 3 CONDITIONS ET MOYENS EXPERIMENTAUX

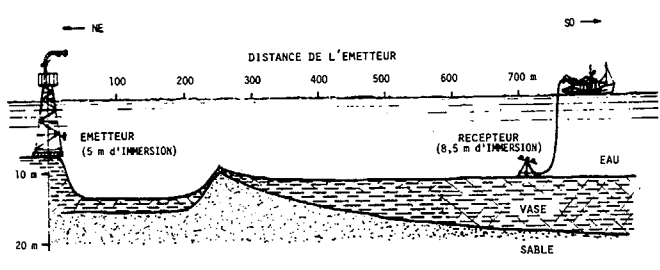
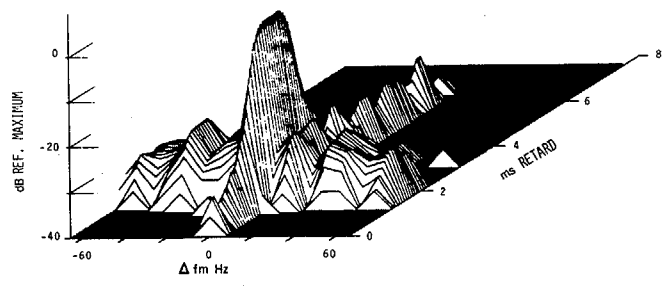


FIG. 9 FONCTION DE DISPERSION DE LA SERIE N° 24 : 4 kHz, 1ms, PARAMETRIQUE





APPLICATION D'UNE ANTENNE PARAMÉTRIQUE
 A L'ETUDE DE LA TRANSMISSION EN EAU PEU PROFONDE
 A SHALLOW WATER PROPAGATION STUDY APPLICATION
 OF THE PARAMETRIC ARRAY

FIG. 10 FONCTION DE DISPERSION DE LA SERIE N° 29 : 4 kHz, 3ms, DIRECTE

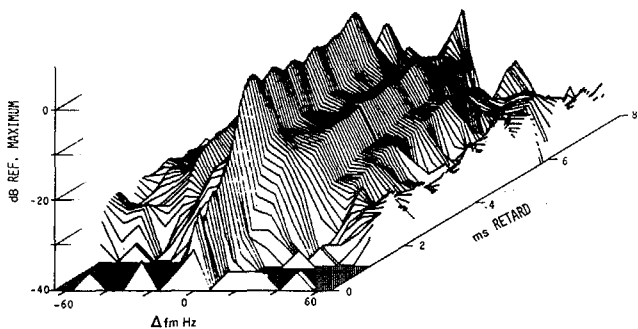


FIG. 11 FONCTION DE DISPERSION DE LA SERIE N° 30 : 4 kHz, 1ms, DIRECTE

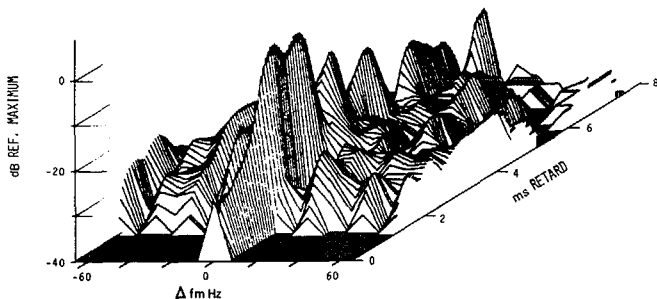


FIG. 12 REPONSE DU CANAL EN FONCTION DE SITE A L'EMISSION (4 kHz, 1 ms, PARA)

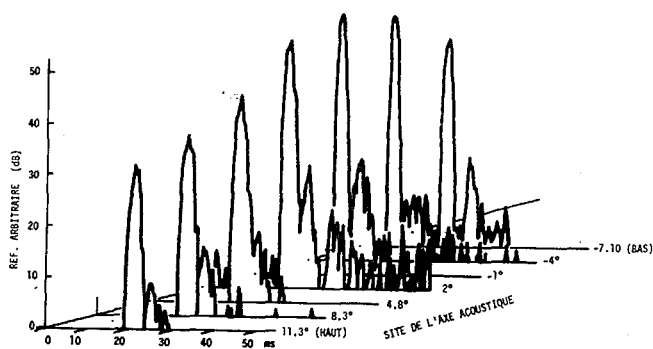


FIG. 13 CANAL DE PROPAGATION DU MODELE

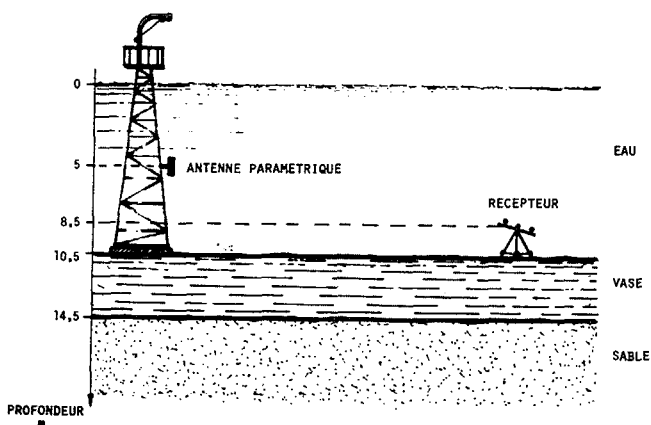


FIG. 14 PROFIL DE CELERITE DU MODELE

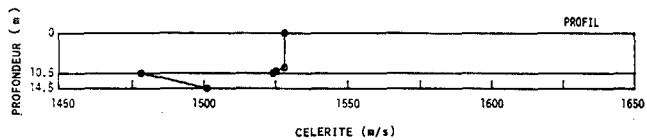


FIG. 15 MODES NORMAUX DU MODELE

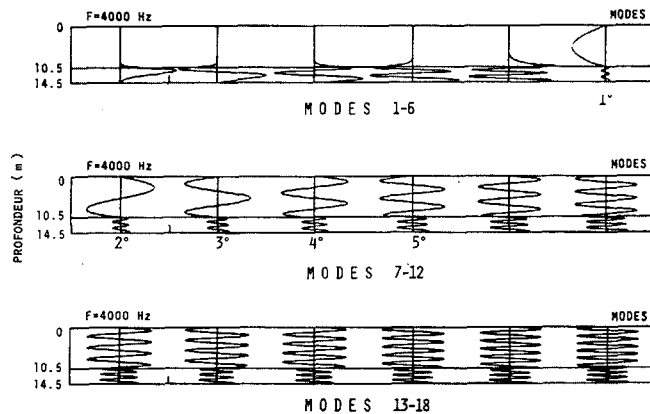


FIG. 16 PERTE DE TRANSMISSION EN FONCTION DU SITE DE L'EMETTEUR

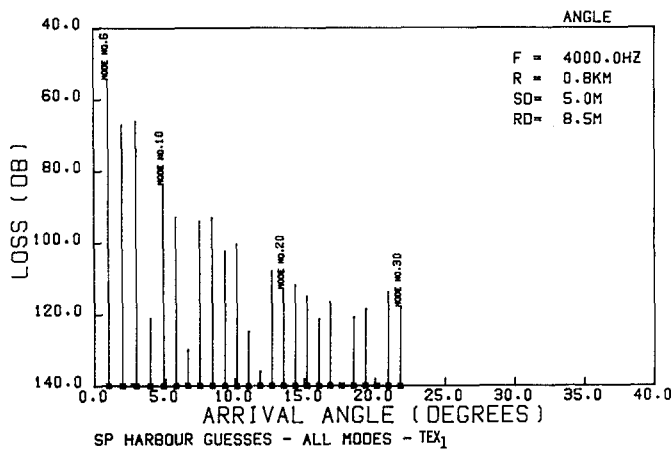


FIG. 17 PERTES DE TRANSMISSION (--- MODES 1-7; — TOUS LES MODES)

