



**ETUDE EXPERIMENTALE DE LA PROPAGATION ACOUSTIQUE A
TRAVERS LE DIOPTRE AIR-EAU EN PRÉSENCE D'UNE HOULE
SINUSOIDALE**

G.SARACCO, J.LEANDRE, C.GAZANHES

**CNRS-LABORATOIRE DE MECANIQUE ET D'ACOUSTIQUE
31, Chemin Joseph-Aiguier 13402 Marseille cedex 09**

RÉSUMÉ

En vue de l'application à la transmission du son à travers le dioptré air-eau le but principal de l'étude expérimentale est la mesure de la pression acoustique après traversée du dioptré.

Les expériences sont conduites à échelle réduite dans une cuve acoustique avec un facteur d'échelle de 100. Le générateur de houle peut générer des vagues de hauteur crête à creux de 0,5 à 2,45.

Ces mesures ont été faites aux fréquences de 3 et 5 kHz.

ABSTRACT

In view to application of sound transmission through the sea surface, the main goal of the experiment study was the measurement of the acoustic pressure after transmission through a sinusoidal air-water interface.

The experiment were conducted on a reduced scale model in an acoustic tank with a scale factor of 100.

The wave generator can generate regular waves for crest to trough ranging from 0,5cm to 2,45cm.

Measurements were made using wave train of 3 and 5 kHz.

1. Présentation générale du problème

On s'intéresse à la transmission acoustique à travers une interface séparant deux milieux fluides. Ces milieux sont considérés comme homogènes et isotropes et le signal comme une fonction arbitraire du temps. On suppose que la célérité du son dans le second milieu c_2 est supérieure à la célérité c_1 dans le premier milieu, où se trouve la source ponctuelle. En vue d'une réalisation expérimentale, on traitera le cas particulier du dioptré air-eau.

L'étude théorique de la réfraction d'ondes sphériques à travers une interface séparant deux fluides montre que le champ total obtenu en un point quelconque du second milieu provient de la superposition de différents types d'ondes (1-12). Les contributions de celles-ci diffèrent en fonction des caractéristiques de la source, de la complexité de l'interface et de la position du point d'observation. Nous pouvons décrire les principales contributions des ondes parvenant à l'hydrophone, suivant quatre trajets possibles (cf. Fig.1) :

1°) la contribution de l'onde géométrique (ou réfractée directe) qui permet de retrouver la géométrie de la source, d'après les lois de Snell-Descartes;

2°) la contribution de l'onde latérale (ou inhomogène) qui apparaît pour des angles d'incidence sur-critiques et intervient

comme une correction à la théorie des rayons (trajet d'intégration proche d'un point de branchements);

3°) la contribution de l'onde diffusée par la surface de la mer (diffusion d'autant plus importante que la surface se trouve agitée)

4°) et celle des ondes ayant subi des réflexions multiples entre le fond marin et la surface.

Dans une précédente étude nous avons traité le cas de la propagation d'ondes sphériques monochromatiques à travers une interface plane et plus précisément le cas du dioptré plan air-eau. Sous les hypothèses de mer calme et de grande profondeur nous n'avons considéré que les deux premières contributions. Rappelons qu'expérimentalement nous avons pu séparer la contribution latérale de la contribution géométrique et mis en évidence leurs comportement et propriétés. De plus conformément à l'étude théorique et numérique, par la mesure du champ réfracté total nous avons montré les zones d'interférence entre ces deux contributions.

2. Transmission acoustique en présence de houles sinusoidales

La présente étude expérimentale a été faite pour prendre en compte la contribution de l'onde diffusée par la surface agitée de la



mer. Nous avons étudié le champ acoustique total en présence de houles sinusoïdales.

2.1 Générateur de houle

Ces houles sont obtenues au moyen d'un batteur animé d'un mouvement vertical périodique. Le générateur que nous avons conçu et réalisé est basé sur le principe du coin dissymétrique plongeant, immergé à mi-hauteur, animé d'un mouvement alternatif vertical. Sous l'effet de la pénétration du coin, le milieu liquide se déforme et une houle directionnelle périodique est engendrée (cf. Fig. 2).

Ce générateur de houle couvre la gamme de fréquence 0 à 50 Hz et

l'amplitude du coin est réglable par pas de 1 cm jusqu'à 5 cm. Les photographies de la figure 3 le montrent en fonctionnement installé sur une cuve. Les différents clichés montrent sous des angles différents l'état de surface créé. Ils mettent également en évidence la très faible houle produite par la face arrière du coin.

2.2 Caractérisation des houles générées

Elle se fait grâce à une sonde résistive plongée verticalement dans la cuve. La sonde permet de mesurer la hauteur des vagues et de suivre leur évolution temporelle grâce à un analyseur multicanal qui effectue l'analyse statistique de leurs fluctuations d'amplitude et d'en déterminer la hauteur moyenne sur une durée de l'ordre de 15 minutes.

Pour notre étude nous avons généré trois états de surface différents. En effet nous avons transposé en cuve, avec un facteur d'échelle 100, des houles de force 4, 5 et 6 selon l'échelle Beaufort, soit en laboratoire des vagues de hauteur comprise entre 0,5 cm et 2,45 cm pour une fréquence comprise entre 2,56 Hz et 2,7 Hz.

3) Mesures acoustiques

L'expérience, dans le cas harmonique, a été faite pour une fréquence du signal source de 3 et 5 KHz. La source était fixée à 1 m au dessus du plan d'eau. Elle émettait des trains d'ondes d'une durée de 2 ms, selon une période de récurrence de 1 s.

A l'aide de l'analyseur multicanal, nous avons estimé la distribution d'amplitude des signaux issus de l'hydrophone immergé à une profondeur z et situé à une distance radiale r . Pour chaque point de mesure, nous avons analysé, selon 200 classes, 1000 échantillons de ces signaux, à raison d'un échantillon par train d'ondes reçu. Les histogrammes obtenus donnent des valeurs moyennes et des écarts-types proportionnels aux valeurs moyennes de la pression reçue p_t et aux écarts-types de ces fluctuations. A partir de ces résultats nous avons calculé, en valeur relative, l'atténuation de pression en décibel, par rapport au niveau de référence p_i mesuré sur l'interface à l'aplomb de la source. (Avec ∇ l'atténuation : $W_{dB} = 20 \log(p_t / p_i)$)

3.1 Résultats

L'analyse des résultats expérimentaux montre que le signal transmis subit au passage du dioptrre agité une modulation d'amplitude périodique due à la houle sinusoïdale lorsque celle-ci est de faible amplitude (mer de force 4 et 5). La transmission de signaux monochromatiques en présence de houle se trouve renforcée (courbes figures 5 et 6), et les signaux reçus restent cohérents, dans les zones où sans houle il y a interférence entre contribution géométrique et latérale.

4. Conclusion

Cette étude a montré que pour des états de surface réels, dus à des houles de force 4, 5 et 6, transposées en cuve avec un facteur d'échelle de 100, la transmission d'ondes acoustiques de 30 et 50 Hz transposées à 3 et 5 KHz se trouve renforcée par la houle dans les zones où, sans houle, il y a interférence entre les ondes géométriques et latérales. En dehors de ces zones le niveau de la pression transmise n'est pas modifié par la houle.

Remerciements : Les auteurs remercient le GERDSM (DCAN de Toulon - Le Brusc 83140 Six-Fours) qui a soutenu et financé cette étude.

Bibliographie

- /1/ Gerjuoy, E., Refraction of waves from a point source into a medium of higher velocity. *Phys. Rev.* 73 /1948/, 1442-1449.
- /2/ Brekhovskikh, L. N., *Waves in layered media*. Wiley, New York 1960, pp. 292-302.
- /3/ Weinstein, M. S., Henney, A.G., Wave solution for air-to-water sound transmission. *J. Acoust. Soc. Amer.* 37 /1965/, 899-905.
- /4/ Towne, D.H., Pulse shapes of spherical waves reflected and refracted at a plane interface separating two homogeneous fluids. *J. Acoust. Soc. Amer.* 44 /1968/, 65-76 ; Pulse shape of totally reflected plane waves as a limiting case of the Cagniard solution for spherical waves. *J. Acoust. Soc. Amer.* 44 /1968/, 77-83.
- /5/ Urick, R.J., Noise signature of an aircraft in level flight over a hydrophone in the sea. *J. Acoust. Soc. Amer.* 52 /1972/, 993-999.
- /6/ McNicholas, J.V., Lateral wave contribution to the underwater signature of an aircraft. *J. Acoust. Soc. Amer.* 53 /1973/, 1755-1756.
- /7/ Candel, S.M., Crance, C., Direct Fourier synthesis of wave in layered media and the method of stationary phase. *J. Sound. Vib.* 74 /1980/, 4778-498.
- /8/ Saracco, G., Etude de la transmission acoustique à travers le dioptrre air-eau. Note Laboratoire- L.M.A., ISSN 075-7356, n° 101, C.N.R.S. L.M.A. - Marseille 1987.



- /9/ Saracco, G., Transmission acoustique à travers le dioptr air-eau. *J. Acoust. 1 /1983/*, 71-80.
- /10/ Westwood, E. K., Complex ray methods for acoustic interaction at a fluid interface. *A. Acoust. Soc. Amer. 85 /1989/*, 1872-1884.
- /11/ Saracco, G., Propagation acoustique en régime harmonique et transitoire à travers un milieu inhomogène : Méthodes asymptotiques et transformation en ondelettes. Thèse de Doctorat de l'U.E.R. II, Marseille-Luminy 1989.
- /12/ Plumpton, N.G., Tindle, C.T., Saddle point analysis of the reflected acoustic field. *J. Acoust. Soc. Amer. 85 /1989/*, 1115-1123.
- /13/ Grant, F.S., West, G.F., Interpretation theory in applied geophysics. International series in the earth sciences, McGraw-Hill, Book Company, New York 1965, pp. 164-185.
- /14/ Copson, E.T., Asymptotic expansions. The University Press, Cambridge 1967.
- /15/ Saracco, G., Corsain, G., Gazanhes, C., Holtzer, R., Léandre, J., Mise en évidence expérimentale des ondes latérales dans le cas de la transmission acoustique à travers le dioptr plan air-eau. 12ème colloque G.R.E.T.S.I. Juans-Les-Pins 1989, 937-940.
- /16/ Saracco, G., Corsain, G., Léandre, J., Gazanhes, C., Propagation d'ondes sphériques monochromatiques à travers une interface plane sphérique. Application numériques et expérimentales au dioptr plan air-eau. *Acustica Vol. 73 /1991/*
- /17/ Hagy, J.D., Jr., Transmission of sound through a randomly rough air-sea interface E.E. thesis, Naval Postgrad School, Monterey, Calif./1970/.

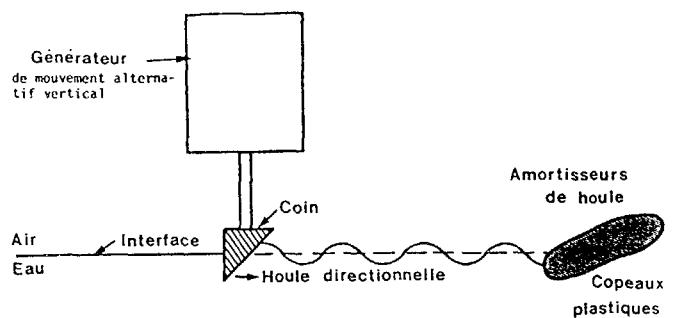


Figure 2

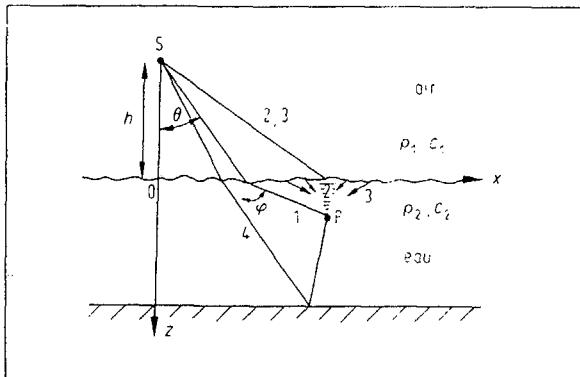
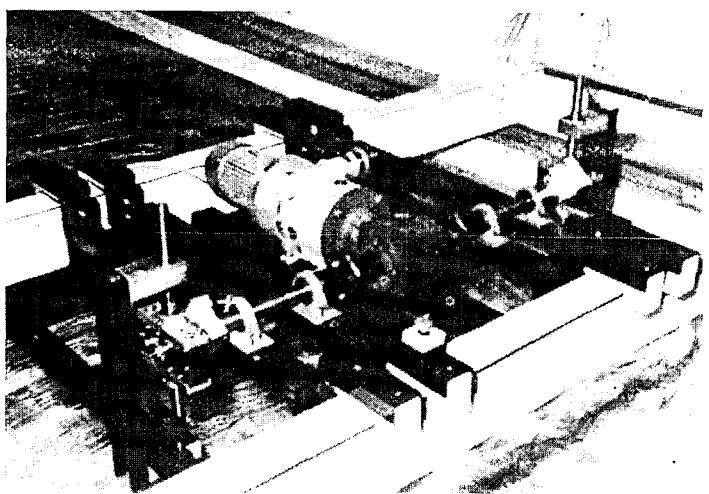


Fig. 1. Contribution des différents trajets de l'onde au point d'observation P hydrophone). 1 – Trajet de l'onde réfractée directe (ou géométrique). 2 – Trajet de l'onde latérale. 3 – Trajet de l'onde diffusée. 4 – Trajet après réflexions multiples.

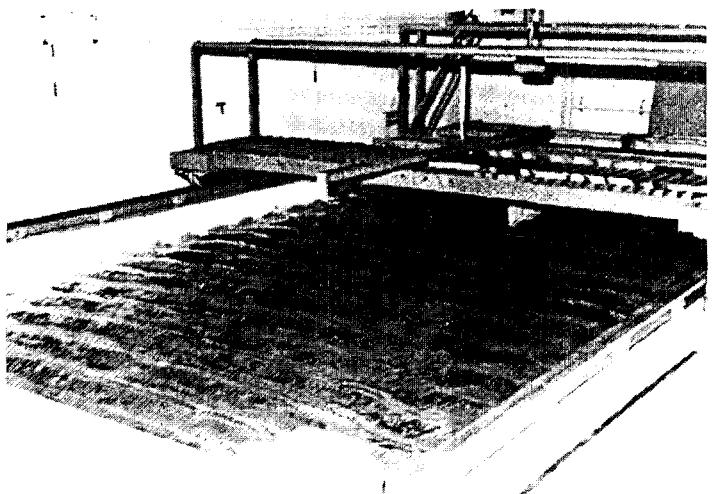


Figure 3 Générateur de houle à batteur

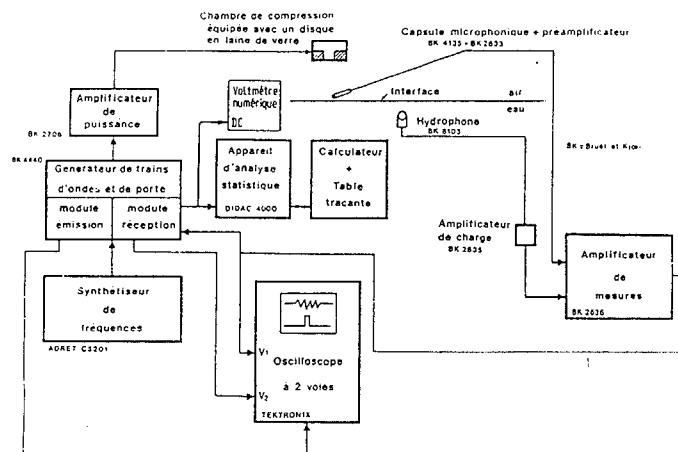


Figure 4 Chaine d'émission-réception.

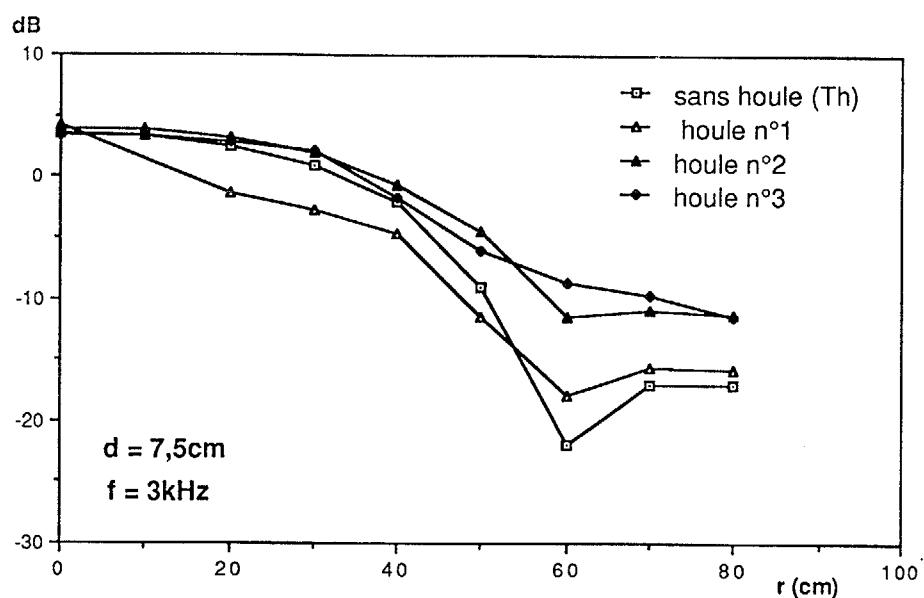


Figure 5 Atténuation du niveau de pression transmise

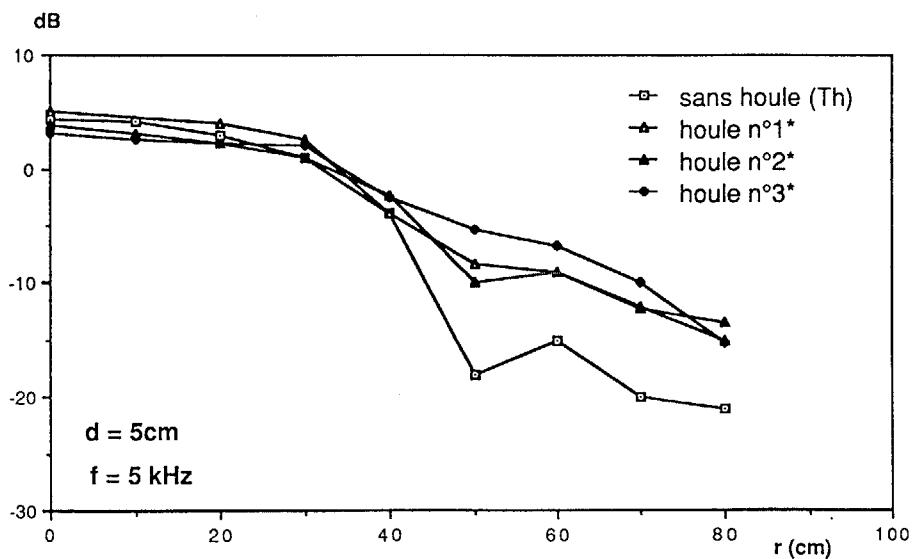


Figure 6 Atténuation du niveau de pression transmise