CONTRIBUTION À LA CONNAISSANCE DE L'INFLUENCE DES ÉCOULEMENTS TURBULENTS SUR LA DIFFUSION ULTRASONORE PAR UN FOND RUGUEUX

J.P. LONGUEMARD et Y. MEVAL

*Laboratoire EPAP, Ecole Centrale, Grande Voie des Vignes, F-92290 Châtenay-Malabry, France***ABSTRACT**

The influence of the turbulence generated by the waves on acoustical diffusion near the seabed is presented. The experiments were made in a hydraulic canal and the surface of the bottom was rough or plan. The peak to peak of the roughness is short or the same than the acoustic wavelength. The acoustical level of the scattering ultrasound is growing when the crest of the waves is at the normal of the transducer. The maxima of the influence of waves on the scattering level is observed when the measures are on a plane bottom submitted at the hydrodynamic waves and this for a grazing angle of 50° . The geometry of the apparatus and the frequencies used are representative of the acoustical comportment of sound in shallow waters.

RESUME

Ce travail concerne l'influence de la houle sur la diffusion acoustique provoquée par un fond lisse ou rugueux pour des longueurs d'ondes acoustiques de l'ordre de la dimension de la rugosité. Il s'est déroulé dans un bassin avec une houle décrite par la formulation de Stokes par petits fonds. Celle-ci provoque un tourbillon visible par une coloration et mesurable par des moyens optiques. En absence de tourbillon provoqué par la houle, la diffusion des ondes acoustiques sur le fond satisfait aux conditions normales de la diffusion (Rayleigh ; Beckman, Spizzichino). La présence d'une houle induit une augmentation du niveau des ondes diffusées pouvant atteindre 10 dB dans la gamme de fréquences étudiée. Les données acquises en bassin sont représentatives du comportement acoustique en mer (diffusion) à des fréquences beaucoup plus basses (quelques kilohertz sur les ripples et quelques dizaines d'Hz sur les dunes sous marines).

I - GENERALITES

Les ondes acoustiques sont émises au centre d'un canal dans lequel circule une houle progressive et se réfléchissent sur le fond. Leur comportement à l'interface dépend de la nature, de la forme, de la rugosité du fond. La houle, au voisinage du fond provoque des tourbillons qui modifient la diffusion acoustique du fond.

Les données acquises dans le canal de l'Université du Havre concernent soit un fond lisse soit un fond strié soumis à une houle et des fréquences ultrasonores (300 KHz, 1 Mhz). Les longueurs d'onde varient en regard de la rugosité et sont petites devant les trajets acoustiques. Un système mesurant la houle synchronise l'émission de trains d'onde ultrasonore émis verticalement vers le fond par une première sonde piézoélectrique. Ces dernières sont détectées après diffusion sur le

fond à des angles de 10°, 30° et 50° par une seconde sonde de réception couplée à une chaîne de numérisation et de traitement des données.

II - ANALYSE PHYSIQUE

Deux comportements physiques sont présents dans cette étude ; les ondes acoustiques et la houle qui modifie les caractéristiques de l'interface eau fond.

II - 1. Comportement acoustique

Le rapport entre les longueurs d'ondes des ondes ultrasonores émises et les dimensions des sondes fait que le système travaille en champ lointain dans la zone de mesure. L'angle d'ouverture du lobe de rayonnement à 3 dB pour une sonde varie de 7° à 15° pour des fréquences comprises entre 300 et 1 000 KHz.

Le matériel émet des ondes acoustiques de forme sphérique soit :

$$P(r,t) \approx \frac{P_o}{r} \exp j (\omega t - kr),$$

où : r est la longueur du trajet acoustique ;

k est le nombre d'onde correspondant à la pulsation ω .

Le signal arrive normalement sur le fond et est renvoyé suivant les lois de Descartes pour un fond plan et suivant les critères de Rayleigh pour un fond rugueux (1). L'onde captée par la sonde réception P_{cap} est définie, pour un élément de fond, par :

$$P_{cap} \approx \frac{P_o}{(r_1 \cdot r_2)} \exp j [\omega t - k(r_1 + r_2)] \cdot \gamma(\theta)$$

où : $\gamma(\theta)$ est analogue à un coefficient de réflexion, fonction de l'angle de mesure par rapport à la normale ;

r_1 et r_2 sont les longueurs des trajets incidents et diffusés.

Chaque élément de surface irradié n , renvoie une pression vers la sonde réceptrice et la valeur résultante captée vaudra :

$$P_{cap} \approx \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \frac{P_o}{(r_{1n} \cdot r_{2m})} \exp j [\omega t - k(r_{1n} + r_{2m})] \sqrt{\gamma_{nm}}(\theta)$$

La fonction $\gamma_{nm}(\theta)$ satisfait localement aux conditions de renvoi des ondes couramment usitées, soit (2) :

- le rapport entre l'écart quadratique moyen de la rugosité δ et la longueur d'onde ;
- la pente de la facette au point de coordonnées n, m ;
- le coefficient de réflexion sous incidence normale R_o .

La diffusion, dans cette configuration entre θ et $\theta + d\theta$ est (2) :

$$\gamma(\theta) = R_o 2 \pi^4 \left(\frac{a}{r}\right)^2 \left(\frac{\delta}{r}\right)^2 (\cos \theta + 1)^4 \sin \theta \exp - \left(\frac{\pi a \sin \theta}{r}\right)^2$$

où : $a = \sqrt{\delta}/m$ (m est la pente et δ la rugosité) ;

h_o est le coefficient de réflexion sans rugosité.

II - 2. Comportement de la houle dans le canal

D'une amplitude de 24 mm et une longueur d'onde $L = 1,46$ m, elle est supposée représenter des effets analogues à ceux de la houle par petits fonds. Les caractéristiques de cette dernière sont fixes et l'on a préféré faire varier la fréquence acoustique pour apprécier l'influence relative des conditions hydrodynamiques. Elle est représentée par la formulation de Stokes.

Les mouvements de particules au voisinage du fond dont l'amplitude dépend de la profondeur (H) du canal, de l'amplitude de la houle (A) et de longueur d'onde L sont tels que :

- l'élongation horizontale vaut :

$$S_h = A \frac{\operatorname{Ch} 2\pi \frac{y+H}{L}}{\operatorname{sh} 2\pi \frac{H}{L}}, S_h \text{ tend vers } \frac{A L}{2\pi H} \text{ quand } \frac{L}{H} \text{ croît}$$

- l'élongation verticale vaut :

$$S_v = A \frac{\operatorname{Ch} 2\pi \frac{y+H}{L}}{\operatorname{sh} 2\pi \frac{H}{L}}, S_v \text{ tend vers } A \left(1 + \frac{y}{H}\right) \text{ quand } \frac{L}{H} \text{ croît.}$$

Des turbulences sont induites sur les rides, avec une amplitude de l'ordre du pas de ces dernières. Des zones de turbulence intense apparaissent à la crête des rides. Ces dernières sont à même de provoquer une modification notable (découlement) du fluide donc une possibilité de diffusion des ondes acoustiques à la crête des tourbillons et non plus sur l'interface lui-même.

III - ANALYSE DES RESULTATS

L'analyse rigoureuse du comportement physique est complexe aussi nous avons préféré travailler par comparaison entre un fond rugueux et un même fond mais lisse soumis aux mêmes conditions hydrodynamiques. Le comportement le plus significatif fut observé à 300 Khz.

Une influence importante de la houle prend naissance lorsque la crête de la houle passe à l'aplomb de la sonde émettrice pour des angles d'incidence de 10° et 30° . Le même phénomène a lieu pour $\theta = 50^\circ$ mais avec un déphasage de 30 % de la longueur d'onde. L'effet relatif le plus sensible a lieu pour un fond lisse quelque soit la phase de la houle.

Cette constatation s'explique par le fait que sans rugosité, le fond ne diffuse pas les ondes acoustiques. Les turbulences engendrées par la houle ont, dans ce cas, une action significative par la réaction d'une rugosité artificielle.

Ce tourbillon produit alors une augmentation du niveau de plus de 10 dB. En éclairant plusieurs rides, les transducteurs provoquent une diffusion accrue dans toutes les directions et homogénéisent les niveaux reçus surtout à 30° par rapport à la houle seule.

La phase de la houle par rapport aux sondes acoustiques en agissant sur la position dans l'espace du tourbillon, provoque indirectement un accroissement du niveau acoustique.

IV - CONCLUSION

L'influence de la houle est d'autant plus importante que le fond est lisse, ce qui est dû au fait que les ridules produisent elles-mêmes une partie des ondes diffuses. L'accroissement du niveau diffusé, pour θ valant 50° dépasse largement 10 dB à 300 et à 1 000 Khz. Ce phénomène moins sensible pour $\theta = 10$ degrés (gain de

l'ordre de 3 à 6 dB) disparaît en fait vers 30 degrés lorsqu'il y a des ridules.

Ces quelques résultats quoique fragmentaires confirment qu'il serait possible d'étudier les turbulences hydrauliques au niveau d'un interface par analyse de la réponse acoustique en particulier par un système multisonde en vue de définir les points de naissance des turbulences. L'appréciation de la dimension de celle-ci est également possible en utilisant plusieurs fréquences acoustiques.

Ces résultats sont représentatifs d'un effet dû à la houle par petits fonds à des fréquences acoustiques beaucoup plus basses.

V - BIBLIOGRAPHIE

- (1) - P. BECHMAN, A. SPIZZICHINO : The scattering of electromagnetic waves from rough surface. Pergamon Press 1963.
- (2) - H.E. BENNET, J.O. PORTENS : Relation between surface roughness and specular reflectance at normal incidence. Jour. of the Optical Society of America. Vol 54. Nu. 2.2. 1961.
- (3) - P.A. CROWTHER : Some statistic of the sea bed and Acoustic scattering therefrom. Proceedings of an Institute of acoustic "Acoustics and the sea bed"1983.
- (4) - P.H. THORNE, N.G. PACE : Broad Band studies of Acoustics scattering from a rough model surface. Proceedings of an Institute of Acoustics "Acoustics and the sea bed". 1983.

TABLEAU : Niveau acoustique mesuré, proportionnel à ρc à 300 KHz et 1 Mhz

	angle de mesure	sans houle	avec houle sans retard	avec houle avec retard de 130 %	avec houle avec retard de 160 %
PLAQUE ALUMINIUM LISSE POUR UNE FREQUENCE DE 300 KHZ A	10°	746 mV	2,30 V	2,14 V	1,48 V
	30°	780 mV	936 mV	1,74 V	1,56 V
	50°	136 mV	616 mV	576 mV	560 mV
PLAQUE ALUMINIUM AVEC DES RIDULES POUR UNE FREQUENCE DE 300 KHZ B	10°	832 mV	1,68 V	1,84 V	1 V
	30°	1,36 V	1,39 V	1,37 V	1,24 V
	50°	1,41 V	1,12 V	1,41 V	1,41 V
PLAQUE ALUMINIUM AVEC DES RIDULES POUR UNE FREQUENCE DE 1 MHZ C	10°	10,6 V	10 V	9,3 V	8,9 V
	30°	2,3 V	2,02 V	2,04 V	1,67 V
	50°	896 mV	944 mV	932 mV	854 mV
PLAQUE ALUMINIUM LISSE POUR UNE FREQUENCE DE 1 000 KHZ D	50°	40 mV	146 mV	204 mV	99 mV