

# COLLOQUE NATIONAL SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS



NICE du 16 au 21 JUIN 75

---

REVERBERATION ACOUSTIQUE SOUS-MARINE DE SURFACE\*

REVERBERATION OF UNDERWATER SOUND FROM THE SEA SURFACE

Claude GAZANHES\*\*  
Jean LEANDRE\*\*\*

Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, C.N.R.S., 31, chemin Joseph Aiguier, Marseille

---

## RESUME

Nous donnons quelques résultats relatifs à la rétrodiffusion, ou encore, réverbération d'une onde sonore par la surface de la mer.

En appliquant la formule de Green au calcul du champ acoustique réverbéré nous obtenons un modèle mathématique qui permet de prendre en compte des données expérimentales comme la directivité des sources, l'état de surface, etc ...

Nous avons conduit une étude expérimentale, sur un modèle réduit en cuve acoustique, les états de surface étant obtenus au moyen d'une soufflerie.

Nous comparons les résultats de l'étude numérique effectuée à partir du modèle mathématique à l'expérience et aux différentes formules, quelquefois empiriques, qui permettent un calcul approprié des phénomènes.

## SUMMARY

Some results concerning the reverberation of sonic waves from the surface of the sea (backward diffusion) are given.

On applying Green relation in the calculation of the reverberated sonic field, we obtain a theoretical model which allows us considering some experimental data, like directionality of sources, state of the surface .....

An experimental study with a reduced model was undertaken in an acoustic basin ; variable states of the surface were obtained with a blower.

The results of a computational study carried out after a theoretical model, are compared to experience as well as to different formulas, sometimes empirical which permits approximate calculation of the phenomena.

\* Ce travail a fait l'objet d'une Convention D.R.M.E.

\*\* Maître de Recherche.

\*\*\* Assistant de Recherche Spécialiste.

1. INTRODUCTION

La retrodiffusion ou réverbération est provoquée par les hétérogénéités du milieu de propagation. Celles-ci renvoient vers le récepteur une partie de l'énergie acoustique incidente.

On distingue la réverbération de volume, qui a pour origine des modifications locales des constantes de propagation (vitesse par exemple), et la réverbération de surface et de fond, liée aux frontières du milieu sous-marin. La réverbération de surface, en particulier, a donné lieu à un grand nombre de travaux tant théoriques qu'expérimentaux. Toutefois, à cause du nombre important de paramètres qui interviennent, les résultats expérimentaux sont difficiles à comparer entre eux.

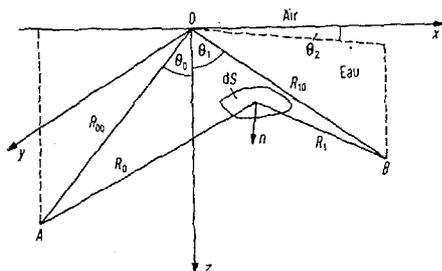
Nous présentons ici quelques mesures relatives à la réverbération de surface. Nous nous sommes intéressés à l'intensité réverbérée ainsi qu'à son calcul effectué à partir d'un modèle mathématique découlant de la formule de Green.

2. ETUDE DE L'INTENSITE ACOUSTIQUE RETRODIFFUSEE

En nous reportant à la figure 1 pour les notations, la pression acoustique diffusée s'écrit selon la formule de Green

$$4 \pi p(B) = - \iint_S (p \partial_n G - G \partial_n p) ds \quad (1)$$

Où G est la fonction de Green de l'espace libre, p la pression acoustique sur la surface S et  $\partial_n$  la dérivée normale à la surface.



Géométrie de la diffusion.  
 A O: axe acoustique de l'émetteur,  
 B O: axe acoustique du récepteur,  
 x O y: plan moyen de la surface au repos,  
 S: surface déformée,  
 dS: élément de surface.

Figure 1

Exprimons les conditions aux limites sur la surface :

Pression acoustique nulle  $p = p_i + p_d = 0$   
 Réflexion totale  $\frac{\partial p_i}{\partial n} = \frac{\partial p_d}{\partial n}$

Puis écrivons la pression acoustique incidente sur la surface

$$p_i = \frac{p_0}{R_0} D(\alpha_0) e^{i(k R_0 - \omega t)}$$

pondérée par l'indicatrice de directivité  $D(\alpha_0)$  de l'émetteur et la solution élémentaire

$$G = \frac{1}{R_1} e^{i(k R_1 - \omega t)}$$

Portons dans (1), par un calcul classique [1]

On montre que la pression diffusée se met sous la forme :

$$4 \pi p_d(B) = \iint A(x,y) e^{+ik(ax + by + cz)} dx dy \quad (2)$$

$A(x,y)$  fait intervenir le produit des directivités de l'émetteur et du récepteur. a, b et c sont les cosinus directeurs des directions d'incidence et de réflexion. L'état de surface intervient par la fonction aléatoire  $z(x,y,t)$

L'expression (2) équivalente au résultat de C. Eckart [2] sera notre point de départ pour le calcul de l'intensité acoustique moyenne.

La pression acoustique diffusée étant une fonction aléatoire, l'intensité moyenne s'écrira :

$$E [p(x_1, y_1) p^*(x_2, y_2)] \quad (3)$$

elle fait intervenir le terme

$$E [e^{ik c(z_1 - z_2)}] = e^{-(kc)^2 \sigma_s^2 [1 - C(x', y')]}$$

qui est la fonction caractéristique associée aux deux groupes de variables aléatoires  $z_1$  et  $z_2$ .  $C(x', y')$  est la fonction d'autocorrélation spatiale de la surface.

On a posé :

$$x' = x_1 - x_2 \quad \text{et} \quad y' = y_1 - y_2$$

(3) peut alors se mettre sous la forme :

$$E [p \cdot p^*] = \iint J(x', y') e^{-(kc)^2 \sigma_s^2 [1 - C(x', y')]} \times e^{ik(ax' + by')} dx' dy' \quad (4)$$

dans laquelle  $J(x', y')$  est une fonction qui tient compte des directivités de la source et du récepteur.

Pour l'étude de la rétrodiffusion, nous avons (figure 1)  $\theta_0 = \theta_1 = \theta \quad \theta_2 = 0$

d'où les cosinus directeurs :

$$a = 2 \sin \theta$$

$$b = 0$$

$$c = -2 \cos \theta$$

et (4) devient dans ce cas particulier :

$$I_{\text{rétro}} = \iint J(x', y') e^{-g^2 [1 - C(x', y')]} e^{iBx} dx dy \quad (5)$$



$$Où g = \frac{4 \pi \sigma_s}{\lambda} \cos \theta = 2 k \sigma_s \cos \theta$$

$$\beta = \frac{4 \pi}{\lambda} \sin \theta = 2 k \sin \theta$$

C'est à partir de (5) que nous avons calculé l'intensité rétrodiffusée par la surface, (celle-ci ayant un écart type constant), quand l'angle d'incidence  $\theta$  augmente.

Pour chaque incidence  $\theta$  la fonction  $J(x',y')$  est calculée à partir des diagrammes de directivité de l'émetteur et du récepteur.

La fonction de corrélation spatiale,  $C(x',y')$  de la surface a été mesurée directement pour chaque état de surface.

Nous avons porté sur la figure 2 les courbes de rétrodiffusion correspondant à différents états de surface. Chaque courbe est paramétrée en fonction du rapport  $H/\lambda$ , hauteur des vagues sur longueur d'onde acoustique, de façon à obtenir rapidement la transposition de fréquence.

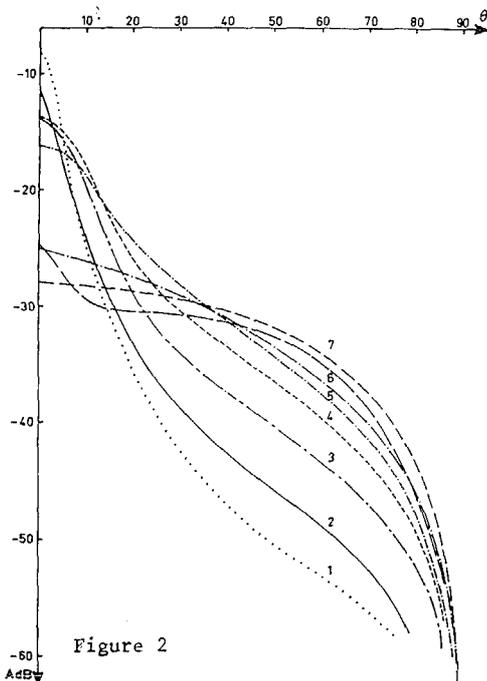


Figure 2  
Courbes de réverbération calculées.

Ce rapport correspond à une fréquence réelle en mer de 5 kHz. La transposition sur le modèle réduit conduit à des fréquences ultrasonores comprises entre 150 kHz et 1 200 kHz.

Nous remarquons la forme caractéristique en S des courbes, ainsi que la forme limite suivant une loi de Lambert, du côté des hautes fréquences. Pour les incidences de l'ordre de 0 à 30°, l'aspect des cour-

bes est essentiellement modifié par la directivité de l'émetteur et du récepteur.

Nous avons déterminé expérimentalement l'ordonnée à l'origine.

Ces courbes ont été calculées pour les paramètres suivants :

Courbes	Fréquence Khz	H/λ
1	150	0,5
2	150	1
3	150	1,2
4	150	2
5	150	5
6	1200	16
7	Loi de Lambert	

### 3. MESURE DE L'INTENSITE RETRODIFFUSEE

L'émetteur et le récepteur sont placés côte à côte, ils font un angle de 5° par rapport à la direction d'incidence  $\theta$ . Ils sont identiques et peuvent transmettre et recevoir des trains d'ondes à fréquence pure de courte durée. Le signal rétrodiffusé est convenablement amplifié puis détecté. Seules, les fluctuations de l'enveloppe sont analysées à l'aide d'un analyseur multicanaux Didac 800.

La méthode a déjà été décrite ici [3]

Nous calculons l'écart type du signal rétrodiffusé que nous normalisons par rapport à l'amplitude du signal reçu lorsque la surface est au repos et pour l'incidence normale. Les figures 3 et 4 montrent les variations de l'intensité rétrodiffusée en fonction de l'incidence et pour différents états de surface. Elles correspondent aux fréquences de 0,6 et 1 MHz et à une durée d'émission de 300 μs.

Ces résultats mettent en évidence l'augmentation de la réverbération avec la fréquence du signal et l'amplitude des vagues. Par contre elle diminue rapidement quand l'incidence augmente. Par exemple au delà de 45° elle est de -50 dB et plus.

Cette forte diminution de l'intensité rétrodiffusée ne permet pas de continuer les mesures au delà de l'incidence de 70°. Nous atteignons le seuil de sensibilité des appareils de mesure (bruit de fond).

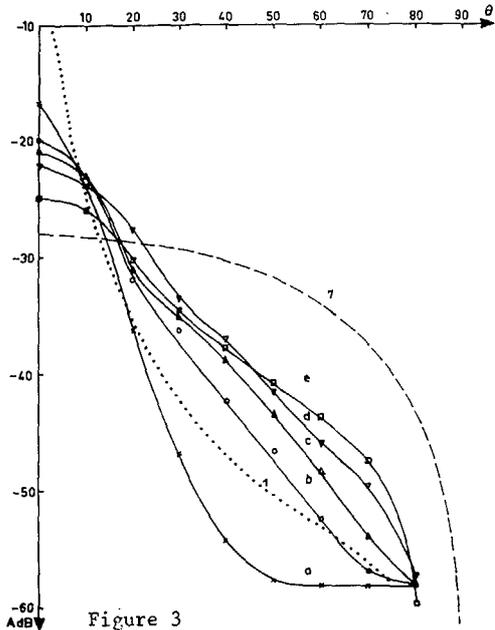


Figure 3

Courbes de réverbération mesurées.

	H/λ	
a	2	} à 0,6 MHz
b	3,6	
c	4,8	
d	8	
e	20	

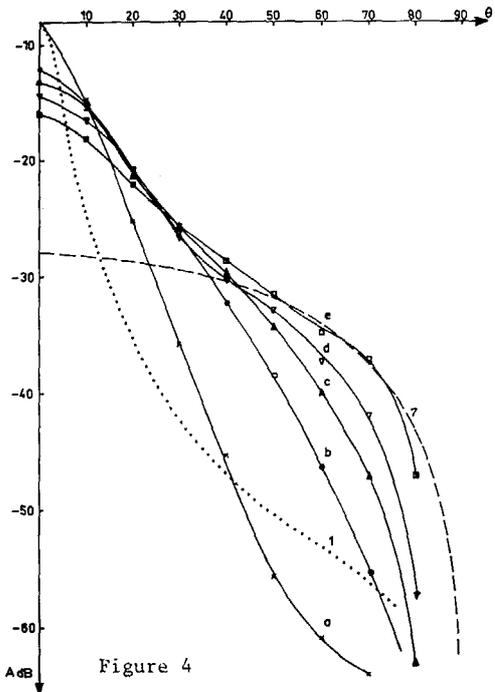


Figure 4

Courbes de réverbération mesurées.

	H/λ	
a	4	} à 1 MHz
b	7,2	
c	9,6	
d	16	
e	40	

#### 4. CONCLUSION

La théorie proposée rend compte des caractères saillants du phénomène expérimental. Elle prévoit une réverbération plus faible que celle obtenue expérimentalement.

L'ensemble des courbes de rétrodiffusion se situe entre les courbes théoriques limites notées 1 et 7 sur les figures 3 et 4.

La courbe 1 correspond à la limite basse-fréquence de la rétrodiffusion. Elle a été étudiée par H.W. Marsh [4] qui propose l'expression :

$$S = -36 + 40 \log(\operatorname{tg} \psi) \quad \text{en dB}$$

$\psi$  étant l'angle de rasance. Cette expression indépendante de l'état de surface et de la fréquence ne permet pas d'ajuster l'expérience.

La courbe 7 correspond à la loi de Lambert

$$S = -50 + 20 \log \sin \psi \quad \text{en dB}$$

Elle décrit la limite haute fréquence de la réverbération.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] BECKMAN, P. et SPISSICHINO, A., The scattering of electromagnetic waves from rough surfaces. Pergamon Press, New York 1963.
- [2] ECKART, C., The scattering of sound from the sea surface. J. Acoust. Soc. Amer. 25 (1953) 566-570.
- [3] GAZANHES, C., LEANDRE, J., Propriétés statistiques de la réflexion sous-marine de surface. Quatrième Colloque sur le Traitement du Signal et ses Applications. Tome 1 § 385-401 Nice Mai 1973.