

Etude acoustique d'un rideau de bulles

O. Gérard, C. Gazanhes.

C.N.R.S.-L.M.A., Equ. Ultrasons, 31 Ch. J. Aiguier 13402 Marseille cedex 09

RESUME

La propagation acoustique dans un milieu diphasique: eau-bulles d'air est un problème important en acoustique sous-marine, dans ce cadre on étudie la réponse en transparence et en réflexion d'un rideau de bulles.

Après quelques rappels sur le comportement d'une onde acoustique en présence de bulles, on calcule les coefficients de réflexion et de transmission de trois façons différentes. Dans la première méthode, on étudie la réflexion et la transmission entre deux milieux différents: l'eau et le rideau de bulles (que l'on considère comme homogène). Après le calcul du nombre d'onde dans chacun des milieux, on applique les formules classiques des coefficients de réflexion et de transmission. Dans la deuxième méthode on effectue un calcul de réverbération: la contribution de chaque bulle est sommée, et dans le calcul de l'intensité renvoyée par une bulle on tient compte de l'atténuation due aux bulles déjà rencontrées. On calcule également le coefficient de réflexion d'une troisième façon, qui est une simplification de la deuxième méthode. Dans ce cas pour le calcul de l'intensité renvoyée par une bulle on ne tient pas compte de l'atténuation due aux bulles déjà rencontrées. Une troisième façon de calculer le coefficient de transmission est de simplement utiliser la formule qui donne l'atténuation en fonction de la partie imaginaire du nombre d'onde.

Cette étude a été soutenue par la D.C.N (E.C.A.N Saint-Tropez)

SUMMARY

The acoustic propagation in a diphasic medium: water-air bubbles is a major problem in submarine underwater acoustics, within that framework one studies the response by transparence or reflexion of a screen of bubbles.

After recalling the behaviour of an acoustic wave in presence of bubbles, the coefficient of reflection and the coefficient of transmission are calculated in three different ways. According to the first method it is the reflection and transmission between two different environments that is calculated: the water and the screen of bubbles (considered as homogenous). After having calculated the number of wave of each medium, usual formulas of coefficients of reflexion and transmission are applied. According to the second method, it is a calculation of reverberation that is used: the contribution of every bubble is added and in the calculation of the intensity sent back by a bubble the softening due to the bubbles already met is taken into account. The third way of calculating the coefficient of reflexion is a simplification of the second method. In this case for the calculation of the intensity sent back by a bubble the softening due to the bubbles already met isn't taken into account. A third way of calculating the coefficient of transmission is simply to use the formula giving the softening according to the imaginary part of the number of wave.

1 INTRODUCTION

La présence de bulles dans un liquide perturbe la propagation des ondes acoustiques. Ces dernières sont diffusées, réfléchies, absorbées de façon plus ou moins importante selon la fréquence. Nous nous intéressons à la propagation à travers un rideau de bulles. Après quelques rappels sur le comportement d'une bulle plongée dans un liquide, nous calculerons les coefficients de réflexion et transmission de trois façons différentes:

2 RAPPELS SUR LES MILIEUX DIPHASIQUES.

2.1 Calcul du nombre d'onde

Ce calcul est fait d'après la théorie de la diffusion multiple. On suppose la taille des bulles très inférieure à la distance qui les sépare et les diffuseurs de même nature et isotropes. Dans ces conditions on montre que la partie cohérente de la moyenne d'ensemble du champ acoustique est solution de l'équation de Helmholtz:



$$\nabla^2 \langle \psi_r \rangle + k^2 \langle \psi_r \rangle = 0$$

$$\text{où } k^2 = k_1^2 + 4\pi \int_0^{+\infty} \frac{Rn(R)}{\left(\frac{f_{\text{rés}}}{f}\right)^2 - 1 - i\delta} dR$$

$$f_{\text{rés}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3\gamma P_0}{\rho_1}} \times \frac{1}{R}$$

avec

k_1 : nombre d'onde du liquide

$f_{\text{rés}}$: fréquence de résonance

R : rayon de la bulle

γ : $C_p/C_v = 1,4$

P_0 : Pression hydrostatique

ρ_1 : masse volumique du liquide

δ : terme d'amortissement

$n(R) dR$: nombre de bulles de rayon compris entre R et $R + dR$ par unité de volume

Nous obtenons un nombre d'onde complexe. L'atténuation est donnée par $\alpha = -\text{Im}(k)$

2.2 sections efficaces

Les sections efficaces de diffusion σ_d , d'absorption σ_a et la section efficace totale σ_t varient avec la fréquence de façon importante. A la fréquence de résonance de la bulle, elles présentent un maximum important (cf figure 1). Et comme le montre la figure 2 plus le rayon est grand plus la valeur de la section efficace à la fréquence de résonance est importante.

3 COEFFICIENTS DE REFLEXION ET TRANSMISSION

Nous calculons les coefficients de réflexion et de transmission de trois façons différentes pour un rideau d'épaisseur L . Les noms que nous attribuons à ces méthodes sont donnés pour rendre plus aisée la lecture de ce texte.

3.1 Première méthode: méthode du nombre d'onde

Dans cette méthode on considère le milieu à bulles comme homogène isotrope. En appliquant la loi de Snell-Descartes et les conditions de continuité de pression et de vitesse normale, on obtient :

$$r = \frac{\frac{k_1^x}{k_2^x} - \frac{k_2^x}{k_1^x} (e^{-ik_2^x L} - e^{+ik_2^x L})}{2 (e^{-ik_2^x L} + e^{+ik_2^x L}) + \left(\frac{k_1^x}{k_2^x} + \frac{k_2^x}{k_1^x}\right) (e^{-ik_2^x L} - e^{+ik_2^x L})}$$

$$t = \frac{2}{2 (e^{-ik_2^x L} + e^{+ik_2^x L}) + \left(\frac{k_1^x}{k_2^x} + \frac{k_2^x}{k_1^x}\right) (e^{-ik_2^x L} - e^{+ik_2^x L})}$$

3.2 Deuxième méthode : méthode de réverbération

Pour appliquer cette méthode, il faut que les bulles ne soient pas trop nombreuses, sinon il y a recouvrement des sections efficaces. On obtient le coefficient de transmission après intégration de la variation d'intensité entre deux points :

$$\frac{I(L)}{I(0)} = \exp\left(\int_0^{\infty} n(R)\sigma_t(R) dR L\right)$$

Pour le coefficient de réflexion, il faut tenir compte de la taille des bulles, la répartition des bulles dans l'espace, la directivité des transducteurs. Si on fait les hypothèses suivantes: atténuation de l'eau négligeable, population de bulles homogène dans le rideau, et les transducteurs assez directifs, il peut s'écrire :

$$\frac{I_r}{I_0} = \frac{(tg\theta_3)^2}{4} \int_0^{\infty} n(R)\sigma_t(R) dR \int_0^{D+L} \frac{\exp(-2N\sigma_t(r-D))}{r^2} dr$$

avec : θ_3 : demi-largeur des transducteurs à 3 db.

D : distance du transducteur au rideau.

3.3 Troisième méthode pour le coefficient de réflexion : méthode de réverbération sans atténuation

Cette troisième façon est une simplification de la deuxième méthode : pour le calcul de l'intensité renvoyée par une bulle, on ne tient pas compte de l'atténuation due aux bulles déjà rencontrées, on obtient donc :

$$\frac{I_r}{I_0} = \frac{(tg\theta_3)^2}{4} \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{D+L}\right) \int_0^{\infty} n(R)\sigma_t(R) dR$$

L'intérêt d'étudier cette méthode est de voir si le fait de négliger l'atténuation due aux bulles déjà rencontrées n'est pas une approximation trop grossière au moins pour des taux d'air assez faibles. En effet si cette approximation est possible, l'étude du problème inverse sera grandement simplifiée.

3.4 Troisième méthode pour le coefficient de transmission: méthode de la partie imaginaire du nombre d'onde.

Comme nous l'avons vu précédemment, l'atténuation est reliée de façon très simple à la partie imaginaire du nombre d'onde. L'atténuation en décibels est

$$\alpha = -8,68 \times \text{Im}\left\{\left(k_0^2 + 4\pi \int_0^{\infty} \frac{R n(R)}{f_r^2/f^2 - 1 + i\delta} dR\right)^{1/2}\right\} L$$

3.5 Comparaison des méthodes

Les populations de bulles sont souvent bien décrites par une distribution gamma. Nous avons donc appliqué ces méthodes pour une telle distribution. Un exemple est donné pour une population dont le rayon des bulles les plus nombreuses est de 30 microns, le rayon des bulles deux fois moins nombreuses 60 microns, et de taux d'air 10^{-4} .



3.5.1 Comparaison des coefficients de réflexion

Dans la méthode du nombre d'onde on travaille en onde plane alors que dans les méthodes de réverbération, on travaille en onde sphérique. De plus les résultats de ces deux méthodes dépendent des conditions expérimentales, il est donc difficile de les comparer avec ceux obtenus par la première méthode pour une population théorique. Par contre on peut comparer ces deux méthodes entre elles, afin de connaître les limites de la méthode de réverbération sans atténuation.

Dans la première méthode, pour un taux d'air assez faible le coefficient de réflexion oscille beaucoup, cela est dû à la réflexion sur les deux interfaces. Quand le taux d'air augmente (figure 3), les oscillations diminuent en effet l'atténuation augmente, et on ne voit plus la réflexion sur la deuxième face.

Pour des taux d'air très faibles, les deuxième et troisième méthodes donnent des résultats équivalents. Quand le taux d'air augmente le maximum de réflexion est plus important pour la troisième méthode, car on ne tient pas compte de l'atténuation des bulles (figures 4 et 5). Le taux d'air à partir duquel les résultats de ces deux méthodes ne sont plus comparables dépend de la largeur de la population, plus la population est large plus ce taux d'air est élevé.

3.5.2 Comparaison des coefficients de transmission.

Les formules des deuxième et troisième méthodes sont proches mais non identiques. Si on fait "l'approximation du premier ordre de la diffusion multiple"

$$k = k_{rés} + \frac{2\pi}{k_{rés}} \int_0^{\infty} \frac{R n(R)}{f_r^2/f^2 - 1 + i\delta} dR$$

on obtient exactement la même atténuation par les deuxième et troisième méthodes. Cette approximation est valable seulement pour les taux d'air faible ($< 10^{-5}$)

Pour un taux d'air assez faible, les courbes obtenues par les trois méthodes sont identiques. Par contre pour un taux d'air plus élevé (cf figure 6 à 8) l'atténuation calculée par la deuxième méthode est plus importante que celle calculée par les deux autres méthodes (le maximum est autour de 170 db au lieu de 150 db). En effet, pour un tel taux d'air "l'approximation du premier ordre de la diffusion multiple" n'est plus valable. Il doit y avoir recouvrement des sections efficaces et il est normal dans ce cas que l'atténuation soit surestimée.

3.6 Position du maximum de réflexion et du minimum de transmission

Pour une population gamma (où le maximum est bien marqué), on appelle fréquence de résonance f_r , la fréquence correspondant aux bulles les plus nombreuses R_m . Nous n'obtenons pas le maximum de réflexion et le minimum de transmission à cette fréquence, mais à une fréquence inférieure pour les trois méthodes.

Comme nous l'avons vu précédemment, plus le rayon est grand, plus la section efficace à la fréquence de résonance est grande. La fréquence de ces extrema correspond alors à la fréquence de résonance de bulles de rayon plus grand mais en nombre suffisant. Donc plus la population est large, plus la fréquence correspondant au maximum de réflexion et au minimum de transmission est petite.

4 CONCLUSION

Pour le coefficient de réflexion, les résultats des deux méthodes de réverbération sont comparables que pour des taux d'air assez faibles. L'approche de ces deux méthodes est tellement différente de la première méthode (méthode du nombre d'onde) qu'il est difficile de les comparer. Pour le coefficient de transmission les résultats des trois méthodes sont équivalents sauf quand le taux d'air devient trop élevé: la méthode de réverbération surestime l'atténuation.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) P. ARZELIES : Acoustique des bulles. Contribution à l'étude de la propagation en milieu diphasique liquide-bulles de gaz. Problème inverse: identification de paramètres décrivant le milieu
Thèse de Docteur Ingénieur (1981)
- (2) C.GAZANHES, P.ARZELIES, J.LEANDRE : Acoustique dans un milieu diphasique eau-bulles d'air. Application à la caractérisation d'un milieu diphasique par voie acoustique
Acustica 55 (1984), 113
- (3) U.S NAVY : Physics of Sound in the Sea. Part IV : Acoustic Properties of Wakes.
National Research Council'

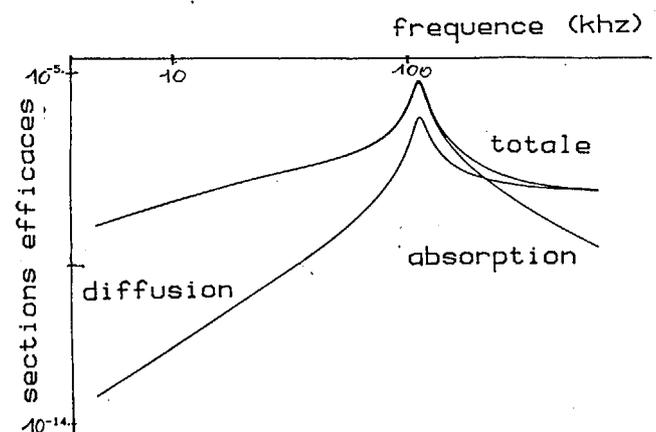


figure 1 : sections efficaces en fonction de la fréquence pour une bulle de 30 microns.

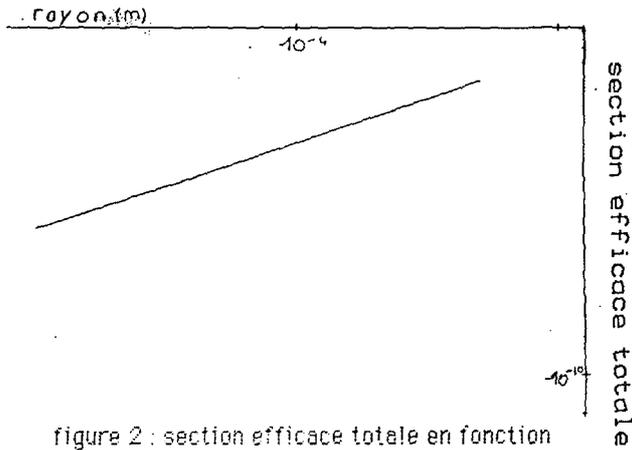


figure 2 : section efficace totale en fonction du rayon (10-500 microns) pour la fréquence de résonance.

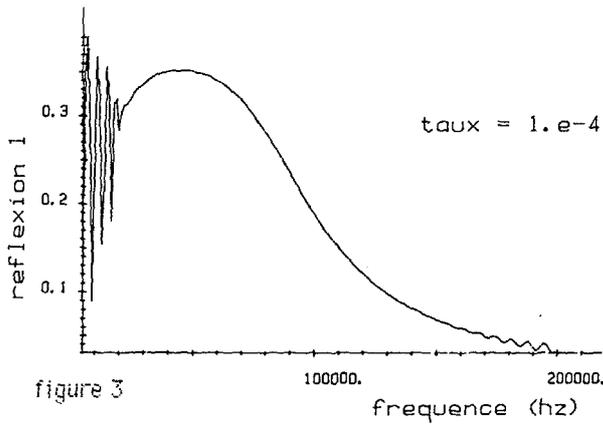


figure 3

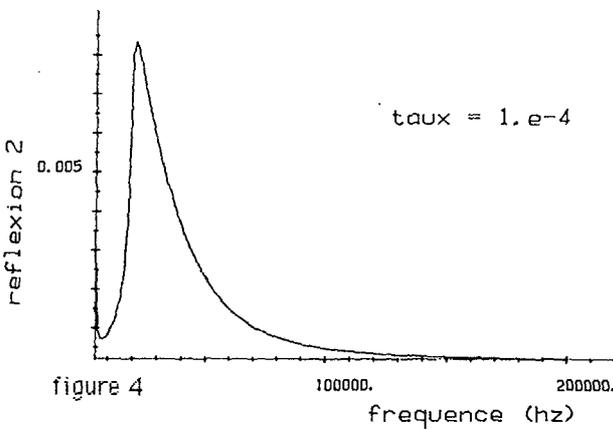


figure 4

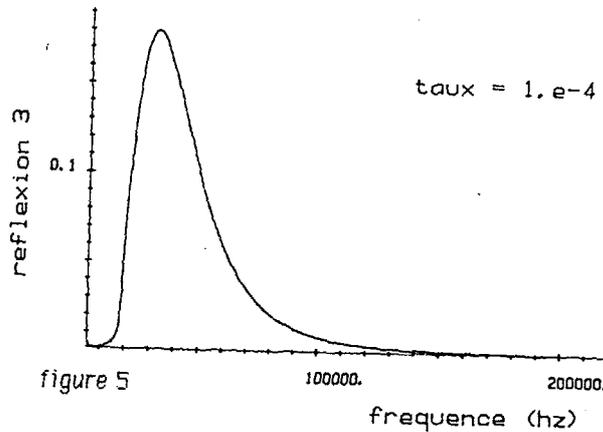


figure 5

coefficients de reflexion en fonction de la fréquence pour les trois méthodes.

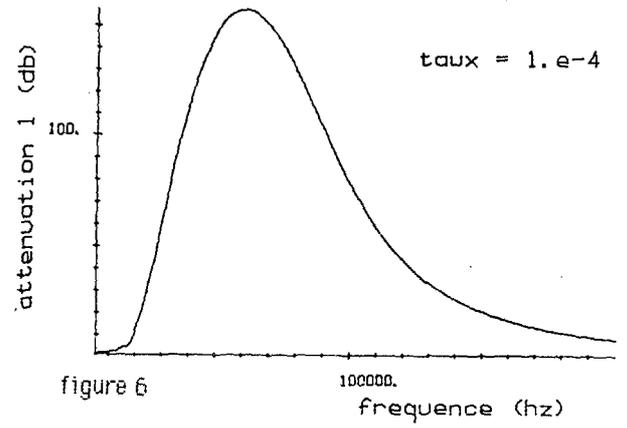


figure 6

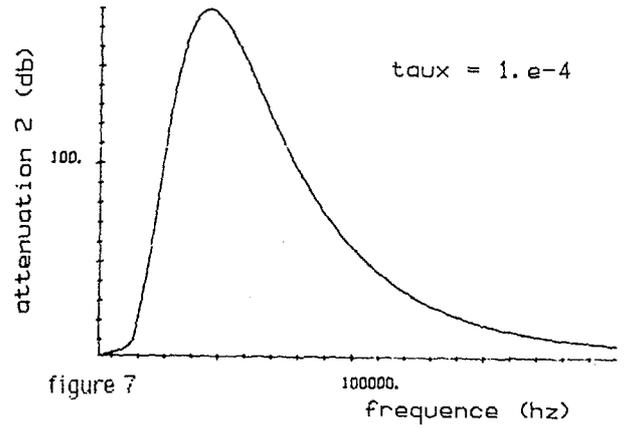


figure 7

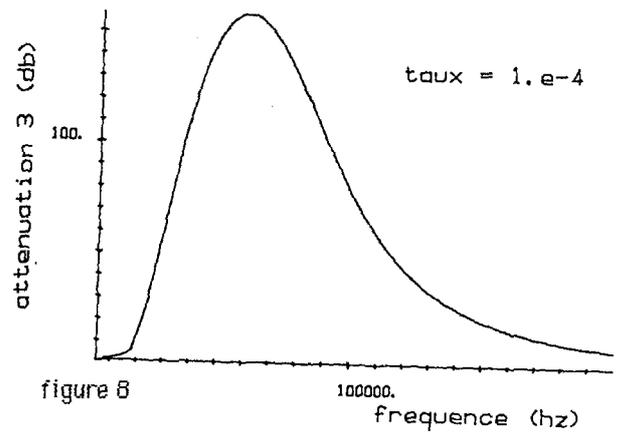


figure 8

atténuation en fonction de la fréquence pour les trois méthodes.