



HAL
open science

ABSORPTION D'UNE ONDE ACOUSTIQUE PAR LES PAROIS D'UN GUIDE 2D

V. Martin, P. Vignassa

► **To cite this version:**

V. Martin, P. Vignassa. ABSORPTION D'UNE ONDE ACOUSTIQUE PAR LES PAROIS D'UN GUIDE 2D. Journal de Physique IV Proceedings, 1992, 02 (C1), pp.C1-749-C1-752. 10.1051/jp4:19921163 . jpa-00251123

HAL Id: jpa-00251123

<https://hal.science/jpa-00251123>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ABSORPTION D'UNE ONDE ACOUSTIQUE PAR LES PAROIS D'UN GUIDE 2D

V. MARTIN et P. VIGNASSA

Institut Méditerranéen de Technologie, IMT, Technopôle de Château-Gombert, F-13451 Marseille cedex 13, France

Abstract - At very low frequencies, the acoustic wave propagating in a duct with yielding walls can present three types of behavior : subsonic, attenuated or supersonic. The second zone where attenuation occurs is shown to depend on the mass of the walls and on the size of the cross section of the duct, while the amplitude of the wave in the supersonic zone is influenced by the rigidity of the structure. The control of the effects of the parameters could lead to industrial applications.

1. Intérêt du problème 2D

L'absorption d'une onde fluide par les vibrations de flexion des parois d'un guide 3D a fait l'objet de quelques études au cours des dernières années [par ex. 1,2,3]. L'analyse tridimensionnelle a montré que les ondes très basses fréquences, celles qui à priori seraient planes (isoamplitude et isophase sur une section du guide), peuvent se situer dans trois zones de célérité de propagation : subsonique, atténuée, supersonique. Les modèles analytiques sont contraints d'imposer des réactions locales des parois alors que les modèles numériques n'ont pas cette limitation. Au delà des ces deux observations aujourd'hui publiées - sur la célérité et sur le type de réaction - une étude de l'influence de divers paramètres s'imposait mais le modèle numérique, seul adapté à cette tâche, était de taille prohibitive en 3D et l'on se tourne vers un modèle 2D. Dans ces conditions, la première zone de propagation subsonique disparaît apportant une information sur sa raison d'être. Pour les deux autres zones, la rapidité des calculs - méthode des éléments finis aussi bien pour le fluide que pour la structure - permet d'observer la sensibilité du système d'ondes stationnaires à divers paramètres. On maîtrisera alors la largeur de la bande de fréquences où il y a absorption de l'onde acoustique.

A l'heure du contrôle vibro-acoustique actif du champ fluide, les résultats présentés dans cette communication devraient être perçus comme des données supplémentaires et on proposera des applications dans le domaine de l'absorption active.

2 - Informations obtenues analytiquement et numériquement

Après avoir décrit les milieux fluide et structure, on présente une approche analytique 2D tirée de [3] et [4]. A cause de l'absence de précision sur certains paramètres de la structure, un modèle numérique 2D prend le relè. Chacun des deux modèles respectivement démontre et montre que la zone subsonique n'existe pas en 2D. Les résultats analytique et numérique concordent quant au graphe de célérité en fonction de la fréquence mais on ira plus loin dans l'analyse grâce au modèle numérique.

- . Les équations sont écrites dans le domaine harmonique linéaire tout au moins en fin d'analyse.
- . La pression acoustique p du fluide confiné dans le guide - ici de l'air - obéit à l'équation de Helmholtz $(\Delta + k^2) p(x,z) = f(x,z)$ où k est le nombre d'onde dans le fluide
- . La structure est formée de deux "plaques monodimensionnelles" qui se font face (caractéristiques mécaniques : 600kg/m^3 , $1.6\text{E}+08\text{N/m}^2$, 1.5cm d'épaisseur). L'analyse qui tient compte de déformations planes selon Oy montre que la déplacement normal w obéit à l'équation d'une poutre dont le coefficient de flexion est celui de la plaque soit en $z=\pm h/2$, où h est la section du guide, $(D\partial_x^4 - \rho_s e \omega^2)w(x) = g(x)$ avec $D=Ec^3/(12(1-\nu^2))$ où ρ_s est la densité, e l'épaisseur, E et ν les modules d'Young et de Poisson.

. Le couplage à l'interface des deux milieux est assuré par la continuité des déplacements normaux soit $\partial_n p = \rho_f \omega^2 w$ et celle des efforts normaux soit $g=p$ où ρ_f est la densité du fluide.

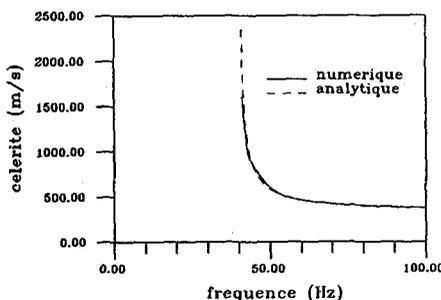
La description ci-dessus ne se prête pas, tout au moins aisément, à un traitement analytique et l'on doit à P.M.Morse & K.U.Ingard [4] d'avoir écrit une autre approche.

. L'influence des parois du guide est décrite par l'apport de masse fluide qu'elles ajoutent dans l'équation de conservation de masse soit $h\partial_t \rho_f = -h\rho_f v_{,x} - \rho_f [\partial_t w(z)]_{-h/2}^{+h/2}$ où v est la vitesse vibratoire dans le fluide.

. Les hypothèses de l'onde plane et l'introduction de l'admittance $\beta = \rho_f c \partial_t w(x)/p(x)$ conduisent, en régime harmonique, à $d^2_{xx} p + k_x^2 p = f$ avec $k_x^2 = \omega^2/c^2 (1-2i\beta c/(h\omega))$ où β vaut en général $\rho_f c/(im\omega - ir/\omega)$, m et r étant les masse et raideur linéiques selon le périmètre de la section. Mais la déformation plane selon Oy s'oppose à l'existence de r . Il s'ensuit $(c_x/c)^2 = \omega^2/(\omega^2 - \omega_1^2)$ où $\omega_1^2 = 2\rho_f c^2/(\rho_s e h)$ [5].

En 3D on obtenait $(c_x/c)^2 = (\omega^2 - \omega_0^2)/(\omega^2 - \omega_1^2)$ où $\omega_0^2 = r/m$ et $\omega_1^2 = \omega_0^2 + \rho_f c^2 L/(\rho_s e S)$, L et S les périmètre et aire de la section.

L'approche numérique se fait par la méthode des éléments finis aussi bien pour le fluide que pour la structure. Les points délicats de résolution sont très techniques et n'ont pas leur place ici.



La figure 1 révèle deux zones, l'une de célérité imaginaire, l'autre de célérité supersonique. L'absence de ω_0 dans le modèle analytique est la raison de l'absence de zone subsonique. Ceci confirme que ω_0 est une vibration propre de la structure selon son périmètre, périmètre de longueur infin en 2D d'où ω_0 nul.

Fig.1 : - Dispersion de célérité de l'onde plane

Numériquement nous n'avons pas observé d'ondes propagées dans les très basses fréquences, et la célérité obtenue dans la zone supersonique valide la célérité du modèle analytique. Pourtant une remarque s'impose : le graphe analytique $c(f)$ est validé sans conteste par l'expérience numérique. Mais la définition de β , locale selon Ox , ne laisse aucune place à l'influence du module d'Young E alors qu'on verra ses effets sur l'amplitude de la pression acoustique au paragraphe suivant. Aussi devrait-on conférer à cette superposition des courbes le titre d'information "macroscopique", l'exactitude étant mise en défaut.

3 - Etude paramétrique

Dans ce premier travail qui porte sur la sensibilité du système d'ondes stationnaires à divers paramètres, nous nous limitons à la section du guide et aux dimensions et nature du matériau de la structure.

La figure 2 montre que la bande d'absorption passive est d'autant plus étroite que la section est large mais simultanément on doit se souvenir que le domaine de validité de nos courbes diminue (à cause de la fréquence de coupure du premier mode non plan dans le cas de propagation avec parois rigides).

Intuitivement l'influence de la structure sera notable dans un guide fin où l'on attend une prédominance de la zone atténuée alors que l'acoustique l'emportera lorsque les parois s'écartent de l'axe du guide. La pulsation ω_1 du modèle analytique, inversement proportionnelle à la hauteur h , prévoit bien ce résultat.

La figure 3 montre que la bande d'absorption passive est d'autant plus étroite que la masse de la paroi est grande. Naturellement, une paroi légère vibrera aisément et influencera la propagation dans le fluide plus que ne le ferait une paroi lourde. A nouveau la pulsation ω_1 du modèle analytique révèle l'importance du rapport $\rho_f/(\rho_s e)$.

Ainsi, à première vue, la démarche numérique se présente vis à vis de ces deux paramètres comme une expérience numérique dont les résultats valident la démarche analytique. On retiendra que, jouant sur la section du guide et la masse des parois, on peut maîtriser la largeur de la zone sans propagation.

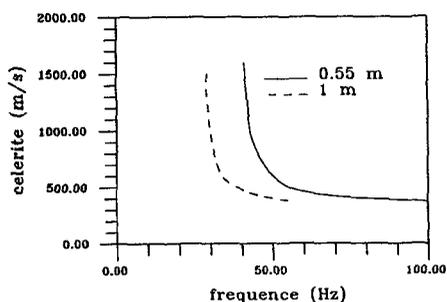


Fig. 2 : - Influence de la largeur du guide

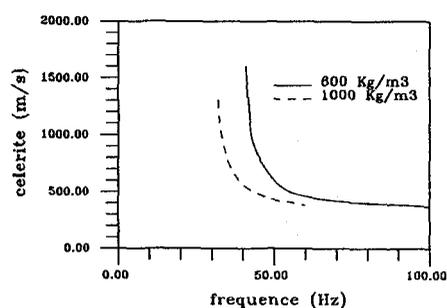


Fig. 3 : - Influence de la masse des parois

Pour ce qui concerne la rigidité de la paroi, le modèle analytique est mis en défaut car les modules d'Young et de Poisson ν sont absents en même temps que ω_0 . Le graphe 4 obtenu par la méthode numérique montre que l'amplitude du système d'ondes stationnaires est d'autant plus grande que la paroi est rigide, ceci à une fréquence de la zone supersonique. A cet endroit nous renvoyons le lecteur à la remarque du paragraphe précédent.

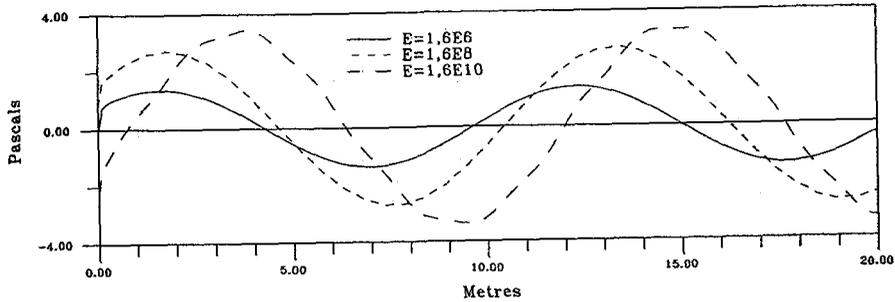


Fig. 4 : Calcul de la pression en fonction de la distance à la source, pour différentes valeurs du module d'Young des plaques, fréquence 50 Hz

4. Applications

Outre l'application immédiate à l'absorption passive de l'onde acoustique dans la zone dite sans propagation, nous insérons l'acquis présenté ici dans une application à l'absorption acoustique active. En effet, la question d'actualité à laquelle nous voudrions participer est la suivante : dans le cas d'un champ acoustique né d'un couplage fluide/structure (cabine de véhicule, acoustique des salles, propagation guidée...) la commande adéquate pour une absorption active est-elle acoustique, vibratoire ou mixte? Les exemples manquent pour aborder la réponse mais notre problème académique suggère des comparaisons de plusieurs moyens d'action et surtout propose l'introduction de considérations physiques dans le choix du type de traitement de signal.

Rendre la paroi inerte par contrôle vibratoire conduirait à une propagation acoustique guidée classique où il reste à absorber l'onde fluide plane non dispersive. Les schémas de commande et leur réalisation ont montré la faisabilité suivie de succès (par ex.[6]) mais deux contrôles interviennent ici.

N'envisager qu'une commande acoustique exigerait un contrôle d'ondes dispersives dans les zones subsonique et supersonique, laissant aux parois le soin d'atténuer l'onde passivement entre ces deux zones. Que connaît-on d'un tel système de commande? Il est vrai qu'on s'attend à des difficultés dans la zone supersonique où l'onde acoustique va trop vite pour être captée, traitée, réinjectée si on devait suivre cette façon de voir les choses.

Une situation intermédiaire, quantifiée en termes de coût, par exemple en termes de puissance consommée par les émetteurs, serait d'introduire l'étude paramétrique capable de régler la largeur de bande des fréquences concernées (influence de ρ_s et h) et l'amplitude des ondes à atténuer (influence de E). On perçoit alors l'intérêt de l'étude présentée ici.

- [1] CUMMINGS A., J. Sound & Vib., 61, (1978)
- [2] CABELLI A., J. Sound & Vib., 103, (1985)
- [3] MARTIN V., J. Sound & Vib., 144, (1991)
- [4] MORSE P.M., INGARD K.U., *Theoretical Acoustics*, (1968)
- [5] VIGNASSA P., Rapport DEA d'Acoustique, Université du Maine, (1991)
- [6] ROURE A., J. Sound & Vib., 101, (1985)