Effets d'un fluide en écoulement uniforme sur le comportement vibro-acoustique d'une plaque bafflée couplée à une cavité rectangulaire

F. Sgard, Nouredine Atalla, Jean-Marie Nicolas

► To cite this version:

F. Sgard, Nouredine Atalla, Jean-Marie Nicolas. Effets d'un fluide en écoulement uniforme sur le comportement vibro-acoustique d'une plaque bafflée couplée à une cavité rectangulaire. Journal de Physique IV Proceedings, 1994, 04 (C5), pp.C5-1009-C5-1012. 10.1051/jp4:19945222 . jpa-00252908

HAL Id: jpa-00252908

<https://hal.science/jpa-00252908>

Submitted on 1 Jan 1994

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.

Effets d'un fluide en écoulement uniforme sur le comportement vibro-acoustique d'une plaque bafflée couplée à une cavité rectangulaire

F. SGARD, N. ATALLA et J. NICOLAS

GAUS, Département de Génie Mécanique, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec J1K 2R1, Canada

The purpose of this work is to develop a general formulation to deal with the vibro-acoustic behavior of a baffled plate, immersed on one side in a mean flow and coupled on the other side to a rectangular cavity with arbitrary wall impedances. The plate is excited by a plane wave convected by the mean flow. The formulation is based on a finite element method for the calculation of the transverse vibrations of the plate and the acoustic field inside the cavity. The external fluid loading is accounted for through the extended Kirchhoff-Helmoltz integral equation and the radiation impedance of the plate in the external fluid is computed with a boundary element method. The mean flow effects on the transmission loss of the plate are discussed.

1. INTRODUCTION

Pour améliorer la réduction du bruit émis et transmis par les structures en mouvement excitées mécaniquement ou aérodynamiquement, il est nécessaire de développer des méthodes pouvant prédire les effets d'un écoulement sur les champs acoustiques rayonnés par ces structures. Une classe importante de problèmes concerne la compréhension des effets relatifs à l'excitation par couche limite turbulente de la structure et à l'écoulement dans lequel la structure rayonne, sur son comportement vibroacoustique. La prise en compte des effets d'un écoulement uniforme sur le comportement vibro-acoustique d'une plaque bafflée a fait l'objet de publications récentes, basées sur la transformée en nombre d'onde (Crighton ⁽¹⁾), sur des méthodes mixtes de type éléments finis-éléments de frontières (Astley ⁽²⁾), ou de type variationnelle-éléments de frontières (Atalla & Nicolas ⁽³⁾, Sgard, Atalla and Nicolas ⁽⁴⁾). Les études menées par ces auteurs ont révélé des résultats différents du cas où le fluide est au repos. En particulier, les derniers auteurs ont montré qu'en présence d'écoulement subsonique, de nombre de Mach typiquement supérieur à 0.2, le couplage fluide-structure devient important, même pour des fluides légers tels que l'air. Ce couplage se traduit par la diminution des fréquences propres de la plaque dans le fluide au repos, par une augmentation de la puissance rayonnée et de l'amortissement de la structure. Le cas d'une plaque en écoulement excitée par une force ponctuelle et couplée à une cavité rigide a été développé par Atalla, Sgard et Nicolas ⁽⁵⁾. Leur approche pour prendre en compte le couplage plaque-cavité repose sur le calcul d'une impédance de rayonnement à partir de la formule de Rayleigh, de la fonction de Green à deux indices de la cavité rigide et d'une méthode d'éléments de frontières.

Dans cet article, on propose une formulation pour étudier l'influence d'un écoulement uniforme sur le comportement vibroacoustique d'une plaque bafflée, excitée de façon aérienne par une onde plane d'incidence quelconque convectée par l'écoulement, et couplée à une cavité rectangulaire avec des faces d'impédance quelconque. La perte par transmission de la plaque sert à analyser l'effet de l'écoulement uniforme sur le comportement vibroacoustique du système.

L'analyse présentée est basée sur une méthode d'éléments finis pour résoudre l'équation de Helmholtz dans la cavité. Les inconnues sont alors les pressions aux noeuds du maillage de la cavité et les déplacements normaux nodaux de la plaque. La démarche suivie pour traiter les vibrations de la plaque et l'effet de la

charge fluide extérieure (fluide en écoulement) est similaire à celle adoptée dans les références ^{(4),(5)} à savoir une méthode d'éléments finis pour les vibrations structurales et le calcul d'une impédance de rayonnement, basé sur la forme étendue de l'équation intégrale de Helmholtz-Kirchhoff, incluant l'effet de l'écoulement, qui permet d'exprimer la charge fluide en termes d'une matrice d'impédance de rayonnement ⁽³⁾ et une méthode d'éléments de frontières.

Le plan de l'article est le suivant. Dans une première et deuxième partie, on évoque la théorie et son implémentation numérique. Dans une troisième partie, on présente des résultats montrant l'effet de l'écoulement sur l'indice d'affaiblissement acoustique de la plaque couplée à une cavité rigide. Finalement, la quatrième partie expose les conclusions de cette étude.

2. THEORIE

Le couplage de la plaque avec le fluide extérieur en écoulement est basé sur une méthode d'éléments de frontières conjuguée à une forme étendue du théorème de Helmholtz-Kirchhoff tenant compte du mouvement du fluide ⁽³⁾. La prise en compte du couplage de la plaque avec la cavité est effectuée par une méthode d'éléments finis. Cette approche constitue une alternative à la méthode hybride variationnelle-éléments de frontières proposée par Atalla, Sgard & Nicolas ⁽⁵⁾. Elle offre en outre la possibilité de traiter une cavité ayant des impédances quelconques sur ses parois mais fait cependant intervenir des inconnues en déplacement et en pression, ce qui augmente la taille du système à résoudre.

Dans la suite tous les champs sont supposés avoir une dépendance harmonique $e^{j\omega t}$ ou ω dénote la pulsation d'excitation. Dans le cas où la plaque est excitée par une onde plane convectée par l'écoulement, cette pulsation est différente de celle émise par la source de l'onde plane, ceci étant dû à l'effet Doppler. Pour une onde plane d'incidence (θ, φ) émise à la pulsation ω_0 , la pulsation ressentie par la plaque est $\omega_0(1 + M \sin(\theta) \cos(\varphi))$ (cf Fig. 1).

La discrétisation de la structure et de la cavité en éléments finis, l'interpolation du déplacement structural $\{\xi\} = \{u, v, \xi_n\}$ et de la pression dans la cavité $P_2(M)$ sur chaque élément fini, fournit le système suivant à résoudre, en termes de déplacements structuraux nodaux $\{U_i\}$ et de pressions nodales $\{P_i\}$:

$$\begin{bmatrix} (-\omega^2 [M_s] + j\omega [Z_l] + [K_s]) & -[C]^T \\ -\rho_2 \omega^2 [C] & \left(-\frac{\omega^2}{c_2^2} [Q] + j \frac{\omega}{c_2} \sum_k \beta_k [A_k] + [H] \right) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_i \\ P_i \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

où $[M_s]$ et $[K_s]$ dénotent respectivement les matrices de masse et de raideur de la structure obtenues par un code d'éléments finis traditionnel

La matrice $[Z_l]$ dénote la matrice d'impédance de rayonnement de la plaque couplée au fluide extérieur qui tient compte de l'effet de l'écoulement. Elle est donnée par:

$$\begin{aligned} [Z_l] = [S]^T & \left[j\rho_1 \omega \int_{A_s} \int_{A_s} \{N^{\xi_n}(M)\} G_0^*(M, Q) \langle N^{\xi_n}(Q) \rangle dS_M dS_Q + \rho_1 c_1 M \int_{A_s} \int_{A_s} \{N^{\xi_n}(M)\} G_0^*(M, Q) \frac{\partial}{\partial \alpha_2} \langle N^{\xi_n}(Q) \rangle dS_M dS_Q B_1 \right. \\ & \left. + \rho_1 c_1 M \int_{A_s} \int_{A_s} \{N^{\xi_n}(M)\} \frac{\partial G_0^*(M, Q)}{\partial \alpha_M} \langle N^{\xi_n}(Q) \rangle dS_M dS_Q - j \frac{\rho_1 c_1^2 M^2}{\omega} \int_{A_s} \int_{A_s} \{N^{\xi_n}(M)\} \frac{\partial G_0^*(M, Q)}{\partial \alpha_M} \frac{\partial}{\partial \alpha_Q} \langle N^{\xi_n}(Q) \rangle dS_M dS_Q \right] [S] \end{aligned} \quad (2)$$

G_0^* dénote la fonction de Green tenant compte de l'effet de l'écoulement ⁽³⁾, M le nombre de Mach U/c_1 , $\{N^{\xi_n}(M)\}$ représente le vecteur des fonctions d'interpolation du déplacement normal de la plaque $\xi_n(M)$ qui s'exprime en fonction des inconnues normales nodales $\{\xi_{ni}\}$ par: $\xi_n(M) = \langle N^{\xi_n}(M) \rangle \{ \xi_{ni} \} = \langle N^{\xi_n}(M) \rangle [S] \{ U_i \}$ où $\langle \cdot \rangle$ dénote le vecteur $\{ \cdot \}$ transposé et $[S]$ une matrice de transformation entre inconnues structurales nodales globales et inconnues structurales dans une direction normale à la plaque.

$[C]$ est la matrice de couplage entre la plaque et le fluide intérieur et a pour expression:

$$[C] = [S]^T \left[\int_{A_s} \{N^p(M)\} \langle N^{\xi_n}(M) \rangle dS_M \right] [S] \quad (3)$$

où $\{N^p(M)\}$ représente le vecteur des fonctions d'interpolation de la pression acoustique $P_2(M)$ en un point M de la cavité.

$[Q/c_2^2]$ et $[H]$ sont respectivement les traditionnelles matrices de masse et de raideur du fluide 2.

β_k représente l'admittance acoustique du matériau de la face considérée de surface S_k et $[A_k]$ est une matrice traduisant la contribution de la face d'admittance β_k dont l'expression est:

$$[A_k] = [S]^T \left[\int_{A_k} \{ N^p(M) \} \langle N^p(M) \rangle dS_M \right] [S] \quad (4)$$

{F} est le vecteur force associé à l'onde plane et est donné par:

$$\{F\} = -2\tilde{P}_I [S]^T \int_{A_s} \{ N^{\varepsilon_n}(M) \} e^{-j \frac{\omega}{c_l (1 + M \sin(\theta) \cos(\varphi))} (\sin(\theta) \cos(\varphi) x_M + \sin(\theta) \sin(\varphi) y_M)} dS_M \quad (5)$$

3. IMPLEMENTATION NUMERIQUE

Dans cet article, la plaque est supposée mince et la cavité rigide. Les matrices de masse et de raideur de la structure sont calculées à partir de l'élément DKTP (Discrete Kirchhoff Triangular Element), qui s'avère modéliser la flexion de façon précise. Un amortissement structural est introduit pour la plaque et la cavité en rendant respectivement le module d'Young et la vitesse du son complexes sous la forme $E' = E(1 + j\eta_s)$ et $c_2' = c_2(1 + j\eta_c)$. La matrice d'impédance $[Z_1]$ est calculée à partir d'éléments triangulaires linéaires. Comme souligné dans (3)-(5), la difficulté du problème réside dans l'évaluation de $[Z_1]$, dû au fait que la fonction de Green G_0^* et sa dérivée contiennent une singularité. Le procédé pour circonvier à ces singularités s'inspire de (6) et est décrit dans les références (4),(5).

4. RESULTATS

La configuration étudiée est décrite en Fig. 1. La plaque, la cavité et les fluides extérieur et intérieur ont pour caractéristiques: $a=0.35\text{m}$, $b=0.29\text{m}$, $\rho_s=2700\text{kg/m}^3$, $\nu=0.3$, $E=7.2 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$, $\eta_s=0.01$, $A=0.35\text{m}$, $B=0.29\text{m}$, $H=0.14\text{m}$, $\rho_1=\rho_2=1.21\text{kg/m}^3$, $c_1=c_2=338\text{m/s}$, $\eta_c=0.01$. Des maillages de $19 \times 16 \times 3$ noeuds et 19×13 noeuds ont été choisis pour discrétiser respectivement la cavité et la plaque. Les figures 2 et 3 montrent l'indice d'affaiblissement acoustique en fonction de la fréquence pour des incidences respectives de $(\varphi=0^\circ, \theta=45^\circ)$ (onde à contre-courant) et $(\varphi=180^\circ, \theta=45^\circ)$ (onde dans le sens du courant), pour des nombres de Mach 0, 0.3 et 0.6.

5. INTERPRETATION DES RESULTATS ET CONCLUSION

On constate que dans les deux cas d'incidence (Fig. 2 et Fig. 3), l'écoulement a pour effet de décroître les fréquences où se produisent les creux dans la perte par transmission (fréquences de résonance de la plaque). A partir de la deuxième résonance, la perte par transmission en présence d'écoulement est plus importante dans le cas où l'onde incidente est dans le sens contraire à l'écoulement (Fig. 2) que dans le sens de l'écoulement (Fig. 3). Il semble que ce phénomène soit lié au couplage intermodal. En effet, il est connu que celui-ci est important en présence d'une excitation acoustique (excitation répartie) et qu'en plus l'écoulement le modifie de façon notable (4). Ainsi, quand l'onde incidente est contraire au sens de l'écoulement, l'efficacité de rayonnement des modes de plaque à l'extérieur est augmentée par un transfert d'énergie des modes rayonnants vers les modes les moins rayonnants, dû à l'écoulement. Ceci a pour effet de diminuer la puissance acoustique rayonnée à l'intérieur de la cavité et d'augmenter celle rayonnée à l'extérieur. Cet effet semble plus important dans le cas où l'onde se propage dans le sens contraire à l'écoulement. Pour l'étude de la transmission de structures dans des écoulements à vitesse importante, on ne peut donc négliger les mécanismes de convection introduit par ces écoulements.

REFERENCES

- [1] Crighton D.G., J. Sound Vib. Vol. 133 1 (1989) 1-27.
- [2] Astley R.J. et Bain J.G., J. Sound Vib. Vol. 109 3 (1986) 445-465.
- [3] Atalla N. et Nicolas J., à paraître dans J. Acoust. Vib., ASME, (1993).
- [4] Sgard F., Atalla N. et Nicolas J., "A coupled FEM-BEM approach for mean flow effects on the vibroacoustic behavior of baffled structures in light and heavy fluids", soumis à AIAA J. (1993).
- [5] Atalla N., Sgard F. et Nicolas J., "Effects of mean flow on the vibroacoustic behavior of a plate-backed cavity", 15th AIAA Aeroacoustics Conference, Long Beach, CA, Octobre 1993.
- [6] Hamdi M. A., "Formulation variationnelle par équations intégrales pour le calcul de champs acoustiques linéaires proches et lointains", Thèse de doctorat d'Etat en Sciences, Université de Compiègne, France (1982).

Fig. 1 - Configuration du problème

Fig. 2 - Perte par transmission de la plaque pour une onde incidente ($\varphi=0, \theta=45$) pour $M=0, 0.3$ et 0.6

Fig. 3 - Perte par transmission de la plaque pour une onde incidente ($\varphi=180, \theta=45$) pour $M=0, 0.3$ et 0.6