

DIFFRACTION DE MODES TOURNANTS PAR UN ÉCRAN AXISYMETRIQUE - ÉTUDE THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTALE

M. JACOB et M. ROGER

Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, CNRS URA 263, Ecole Centrale de Lyon, BP. 163, F-69131 Ecully, France

Résumé - Cette étude concerne la diffraction de modes tournants par une tuyère tronconique mince. La partie expérimentale a été réalisée à l'aide d'un simulateur de modes tournants. Parallèlement, un code de calcul a été élaboré à partir d'une formulation intégrale du problème de diffraction correspondant. On note une bonne concordance entre les résultats théoriques et l'expérience.

Abstract - An experimental and numerical study of the diffraction of spinning modes by a truncated conical pipe is presented. Therefore an electronic spinning mode simulator has been used. Results compare favorably with a numerical scheme based on an integral formulation of the corresponding diffraction equations.

1 - INTRODUCTION

Le bruit rayonné par les propulseurs carénés de l'aéronautique dépend essentiellement de deux facteurs :

- la nature et l'efficacité des mécanismes de production du son
- les modifications de leur rayonnement induites par le carénage.

Le premier aspect est bien compris à l'heure actuelle grâce aux progrès de l'aéroacoustique, qui ont permis de souligner le rôle prépondérant du bruit de raies des machines tournantes /1/. Par contre, l'influence du carénage n'a été que peu étudiée jusqu'ici, malgré le développement des techniques numériques de diffraction en acoustique /2,3/. Les méthodes analytiques, quant à elles, concernent des cylindres longs, voire semi-infinis ou infinis /4/ et ne sont pas applicables à des écrans courts ou non cylindriques.

C'est dans ce contexte qu'a été élaboré le protocole de comparaison calcul-expérience décrit ici pour une tuyère mince tronconique.

2 - ETUDE EXPERIMENTALE

Du point de vue théorique, le spectre de raies d'une machine tournante carénée ou non est équivalent à une superposition de modes tournants.

A rayon fixé, un mode tournant donné est le champ acoustique résultant d'une source n fois périodique continûment répartie sur un cercle, et son potentiel s'exprime par :

$$(1) \quad \phi(M) = A \int_0^{2\pi} e^{-i(kr_\theta - n\theta)} \frac{d\theta}{r_\theta}$$

$k = \frac{\omega}{c_0}$ est le nombre d'onde et r_θ la distance séparant le point d'écoute M du point source repéré par l'angle θ .

Un tel mode ne peut être isolé expérimentalement. Par contre, il est possible de reconstituer le champ correspondant par un échantillonnage de la source sous la forme :

$$(2) \quad \phi_{(M)}^{(n)} \approx \phi_{(m)}^{(n)} = \frac{2\pi}{m} A \sum_{p=1}^m \frac{e^{-i(kr_{\theta_p} - n\theta_p)}}{r_{\theta_p}} \quad \text{où } \theta_p = \frac{2\pi p}{m}$$

Ainsi un mode tournant est approché par une répartition discrète de sources ponctuelles, leur nombre m devant être au moins égal à $2n$.

C'est sur cette idée que s'appuie la réalisation des simulateurs de modes tournants /5,6/. Le simulateur utilisé ici comporte une couronne de 12 haut-parleurs alimentés par des signaux déphasés de $2n\pi p/12$. La gestion des modes et le réglage du niveau sur chaque voie sont confiés à un micro-ordinateur. L'antenne, quant à elle, est réalisée à partir de haut-parleurs de faible encombrement (bande passante 80 Hz-20 kHz) et peut être fixée sur une maquette de carénage par simple appui des bras supports des haut-parleurs. L'expérience montre que ces derniers possèdent tous une même directivité dépendant de la fréquence.

Par ailleurs, des essais de certification en champ libre de l'antenne ont été confrontés à la formule (2). A ce stade, plusieurs remarques s'imposent. Le champ libre correspond assez bien à celui donné par (2) dès lors que l'on module l'amplitude de chaque source par sa directivité. Dans certains cas, on observe cependant une dissymétrie par rapport à l'axe de l'antenne dans le plan de mesure. Ces écarts semblent provenir à la fois d'interactions entre le fonctionnement des différents haut-parleurs et d'effets d'installation. On constate cependant que les déphasages ne sont pas affectés /7/.

Enfin, la diffraction des modes tournants est évaluée en plaçant l'antenne au centre de la maquette et en comparant la directivité obtenue aux résultats des essais en champ libre. On constate que les déséquilibres déjà mentionnés sont alors accentués ou atténués selon les cas.

Les questions soulevées par les constatations expérimentales ont motivé la confrontation avec un code de calcul de diffraction.

3 - ETUDE NUMERIQUE

Le logiciel utilisé a été adapté à partir d'un programme de calcul de la diffraction de sources ponctuelles par des écrans axisymétriques minces et rigides /8/.

Il repose sur une formulation intégrale indirecte du problème "extérieur" du rayonnement, écrit au sens des distributions et convolué par la fonction de Green G_k en espace libre. Le problème "intérieur" dual, généralement associé à ce type de formulation, qui est responsable de non-unicités de la solution à certaines fréquences, a été supprimé en supposant l'écran S infiniment mince.

L'écran étant de plus supposé rigide, les perturbations qu'il provoque dans le rayonnement des sources, sont représentées par un potentiel de double couche μ qui exprime la discontinuité du potentiel acoustique ϕ à travers la paroi.

Ainsi ϕ est lié au potentiel du champ libre ϕ_L par le système :

$$\left\{ \begin{array}{l} \phi(M) = \phi_L(M) + \int_S \mu(q) \partial n_q G_k(M,q) dq \quad M \notin S \quad (3) \\ - \frac{\partial}{\partial n_p} \phi_L(p) = \text{P.f.} \int_S \mu(q) \frac{\partial^2}{\partial n_p \partial n_q} G_k(p,q) dq \quad M \in S \quad (4) \end{array} \right.$$

$\frac{\partial}{\partial n}$ est la dérivée normale à la surface et P.f. la partie finie de l'intégrale singulière au sens de Hadamard .

La résolution numérique s'effectue par une discrétisation directe des équations intégrales, définie à partir d'éléments de surface conservant la courbure initiale de S.

Le potentiel ϕ_L est évalué à partir de (2), et la directivité des haut-parleurs est prise en compte par le biais d'une modulation d'amplitude en fonction de la direction d'écoute.

4 - RESULTATS

Les résultats fournis par le code, qui a été validé par ailleurs /8/, concordent en général avec les résultats expérimentaux (voir Fig. 1), alors que dans certains cas, des différences notables apparaissent, tant à propos de la position que de l'amplitude des lobes de directivité (voir Fig. 2). Les diagrammes présentés correspondent à une distance d'écoute de 2.5 m.

A ce titre, il semble que la qualité du recouplement du champ total soit conditionnée par celle du champ libre. Les disfonctionnements parfois observés dans l'expérience ne sont donc pas dus à l'influence de l'écran, mais plutôt à des problèmes de sensibilité des haut-parleurs pour certaines valeurs des paramètres de l'étude.

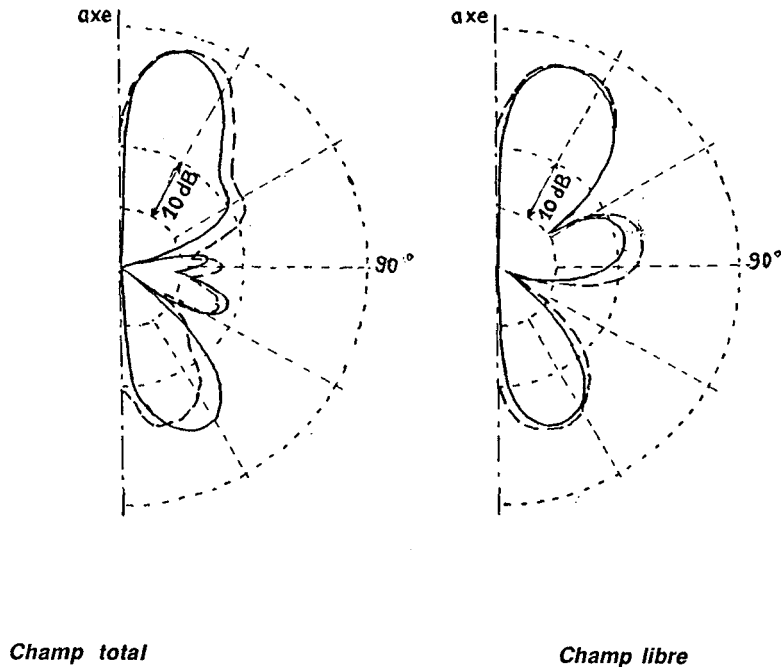


Fig. 1 : mode 1 à 1000 Hz, $R_s = 0.25$ m
(— calcul ; - - - expérience)

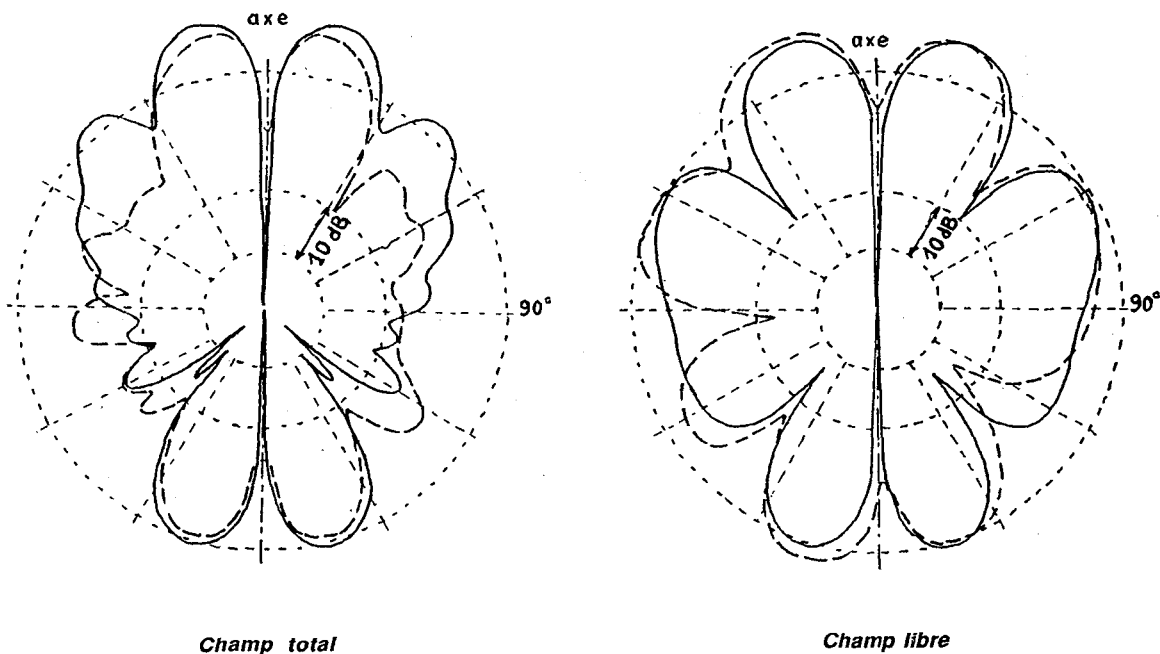


Fig. 2 : mode 1 à 1250 Hz, $R_s = 0.25$ m
 (— calcul ; - - - expérience)

5 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le protocole décrit dans cette étude a permis de constater un bon accord général entre la théorie et l'expérience, ce qui valide à la fois le procédé de simulation électronique de modes tournants et le code de calcul de diffraction.

Par ailleurs, le code de calcul fait actuellement l'objet d'une extension aux écrans épais. Il est également prévu de le coupler avec des programmes d'aéroacoustique /9/, de façon à prendre en compte des sources de bruit représentatives du fonctionnement des machines tournantes aéronautiques.

Le but poursuivi est d'aboutir à une méthode complète de prédiction du bruit de raies rayonné par un rotor caréné.

La présente étude a bénéficié du soutien de la DRET (Contrat n° 87/1486/DRET/DS/SR2) et du Bassin d'Essais des Carènes (Contrat ECAN Paris Marché n° A 86/76/518/00405/75/78).

REFERENCES

- / 1 / Tyler, J.M. et Sofrin, T.G., SAE Trans. 70 (1962).
- / 2 / Seznec, R., 11ème ICA, Paris, Vol. 8, (1983).
- / 3 / Hamdi, M., Thèse de Doctorat d'Etat, UTC, Compiègne (1982).
- / 4 / Ogimoto, K., Institute for Aerospace Studies, University of Toronto, Report No. 231 (1980).
- / 5 / Ville, J.M., Note technique ONERA, n° 566 (1978).
- / 6 / Roger, M., Fournier, F. et Becker, P., 7ème JESPA, Lyon (1986).
- / 7 / Roger, M., Jacob, M. et Roland, P., ECAN Paris/Bassin d'Essais des Carènes, Rapport final n° 3224 (1989).
- / 8 / Jacob, M., Contrat n° 87 /1486/DRET/DS/SR2, Rapport final (1989).
- / 9 / Fournier, F., Thèse de Doctorat, ECL, Ecully (1988).