EXPÉRIENCES DE BASE SUR LA DIRECTIVITÉ DU RAYONNEMENT SONORE ÉMIS PAR UN TURBOMOTEUR

C. POLACSEK

Office National d'Etudes et de Recherches Aéronautiques, BP. 72, F-92322 Châtillon cedex, France

RESUME

Des expériences acoustiques de base ont été menées en chambre anéchoïque, afin de mieux comprendre les phénomènes physiques liés à la géométrie de l'entrée d'air de turbomoteurs d'hélicoptères. Deux maquettes d'entrée d'air cylindrique ont été étudiées ; le bruit de compresseur est simulé à l'aide d'un synthétiseur de modes tournants. Les analyses modales et les directivités mesurées servent de comparaison aux premiers calculs existants.

ABSTRACT

Basic acoustic experiments have been performed in an anechoic chamber, in order to analyse the influence of the geometry of turboshaft engine air intake on sound propagation and radiation. Two air intake models have been studied. The compressor noise is simulated by a spinning mode synthesizer. Modal analysis and experimental directivities are compared to some calculations.

1. INTRODUCTION

Un turbomoteur est une source de bruit qui contribue fortement à la nuisance sonore produite par un hélicoptère au décollage. Comme l'entrée d'air possède une géométrie compliquée et n'est généralement pas axiale, il est envisageable d'influer sur la directivité du rayonnement, en modifiant l'orientation ou la forme de l'admission de manière à réduire le bruit perçu au sol. L'objectif visé ici est donc d'étudier en détail l'effet de la géométrie de la manche sur la directivité du rayonnement. En raison de la complexité du problème, des expériences de base ont été effectuées dans la chambre anéchoïque de Palaiseau.

Cette communication décrit le dispositif expérimental, avec les différentes configurations d'essais, et présente les analyses modales et les directivités mesurées, ainsi que celles calculées, pour deux types d'entrée d'air, l'une axiale (type Makila), l'autre radiale avec un coude à 90°.

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Une vue de l'ensemble du dispositif est présentée sur la figure 1. Elle montre la source sonore constituée de douze chambres de compression équidistantes, qui servent à synthétiser les modes tournants, et le tube de diamètre $D = 30$ cm dans la configuration avec coude à 90°. Les différentes prises de mesures acoustiques sont les suivantes :

- ☛ deux couronnes (I) et (II) comprenant chacune douze microphones 1/4 de pouce, équidistants de 30° et placés radialement en paroi du conduit, à la source et à la sortie ;
- ☛ une perche microphonique (III) montée sur une virole tournante, permettant d'explorer de manière continue le champ sonore rayonné à la sortie.

Fig. 1 Vue du montage expérimental dans la chambre anéchoïque de Palaiseau.

3. MODELISATION DU CHAMP SONORE

La pression acoustique dans une section du conduit est de la forme :

$$p(r, \theta, t) = A(r) \exp [i(2\pi ft - m\theta)], \text{ où } A(r) \text{ est le terme d'amplitude.}$$

En déphasant correctement chacune des sources [1], on peut sélectionner une onde hélicoïdale de mode angulaire m donné. Nous nous limitons ici à $m = 0, 1$ ou 2 .

Le paramètre fondamental régissant la propagation d'un mode (m, μ) dans un conduit est la fréquence de coupure $f_c(m, \mu) = c\chi_{m\mu}/(\pi D)$, où c est la célérité du son dans l'air et $\chi_{m\mu}$ est le zéro de J'_m de rang μ (J'_m est la dérivée première de la fonction de Bessel J_m de première espèce et d'ordre m). Le mode (m, μ) se propage si la fréquence f est supérieure à f_c .

Les fréquences retenues pour ces essais sont choisies de manière à ce que le mode angulaire m sélectionné ne puisse se propager qu'associé au premier mode radial $\mu = 1$, soit : $f_c(m, \mu = 1) < f < f_c(m, \mu = 2)$.

4. ANALYSES MODALES

La méthode utilisée pour l'analyse modale est une méthode à microphones fixes [2], qui fournit, pour une fréquence donnée, le spectre en nombres d'ondes angulaires $P(f, m)$.

La couronne (I) sert à vérifier si le champ sonore émis est bien celui prévu par la modélisation ; la deuxième fournit les données nécessaires au calcul de la directivité théorique pour une entrée d'air axiale [3, 4]. Les résultats d'analyses en sortie du conduit (II) sont présentés sur les figures 2a, 2b et 2c pour les deux types d'entrée d'air, avec respectivement les modes $m = 0$, $m = 1$ et $m = 2$ à la source. Le champ sonore émis à la source se propage en conservant sa structure initiale dans le cas de la manche axiale. Le coude entraîne en revanche une redistribution des modes angulaires sur l'ensemble des modes propagatifs ($|m| \leq 1$ à 1 kHz, $|m| \leq 2$ à 1,5 kHz, $|m| \leq 4$ à 2 kHz). Le spectre $P(f, m)$ s'élargit donc quand la fréquence émise augmente. Ceci s'explique par le fait que les modes créés à la discontinuité [5] se propagent si leur fréquence de coupure est inférieure à la fréquence étudiée (les autres modes sont évanescents).

5. DIRECTIVITES EN CHAMP LOINTAIN

Les mesures de directivité sont illustrées sur la figure 3. Elles sont limitées à un quart de cercle, ce qui est théoriquement suffisant pour l'entrée d'air axiale, en raison de la symétrie de révolution. Les comparaisons entre le calcul et les résultats propres à l'entrée d'air axiale (exemples aux figures 4a et 4b) sont correctes. Pour $m \neq 0$, le niveau de pression est théoriquement nul sur l'axe ($\varphi = 0^\circ$) ; il est minimal en pratique.

a) mode à la source : $m = 0$ à $f = 1\text{kHz}$ b) mode à la source : $m = 1$ à $f = 1,5\text{kHz}$ c) mode à la source : $m = 2$ à $f = 2\text{kHz}$

Fig. 2 Analyses modales à la sortie du conduit (couronne II).

Fig. 3 Mesures de directivité.

Les figures 5a et 5b présentent, pour les modes 1 et 2, à fréquence fixée ($f = 1200$ Hz), les comparaisons des niveaux relevés pour les trois explorations de la directivité (fig. 3) correspondant aux deux entrées d'air. Le coude tend à augmenter notablement le niveau acoustique autour de l'axe de sortie par rapport à l'entrée axiale. Contrairement au cas axial, le niveau reste important et parfois maximal sur l'axe quel que soit le mode engendré à la source. La redistribution de puissance acoustique sur le mode plan, bien visible sur les figures 2b et 2c, est la cause directe de l'augmentation du niveau de bruit sur l'axe de sortie.

a) mode à la source : $m = 0$ à $f = 1200$ Hz

b) mode à la source : $m = 1$ à $f = 1200$ Hz

Fig. 4 Comparaison des directivités théoriques et expérimentales (entrée axiale).

a) mode à la source : $m = 1$ à $f = 1200$ Hz

b) mode à la source : $m = 2$ à $f = 1200$ Hz

Fig. 5 Comparaison des directivités expérimentales pour les différentes configurations.

6. CONCLUSION

Ces expériences de base ont permis de valider en partie les calculs de prévision de la directivité existants, pour une entrée d'air axiale. Les analyses modales montrent que le coude redistribue la puissance acoustique sur d'autres modes et généralisent les approches théoriques limitées à des configurations plus simples (ondes planes dans des coudes à section rectangulaire). Cette redistribution de la puissance, notamment sur le mode plan, avec une entrée d'air coudée à 90° , tend à augmenter le niveau de bruit rayonné sur l'axe de sortie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Ville J.M.: "Définition et réalisation d'un simulateur de modes tournants", Note Technique ONERA n° 1977-9, novembre 1977.
- [2] Blacodon D., Lévy S., AIAA Paper n° 90-4012, octobre 1990.
- [3] Tyler J.M., Sofrin T.G., SAE Transactions, vol. 70, 1962, pp. 309-332.
- [4] Gounet H., Lévy S., Supplément au Journal de Physique, vol. 51, C2, n° 2, février 1990, pp. 1201-1204.
- [5] Cummings A.: "Sound transmission in curved ducts bends", J. Sound Vib., vol. 34, n° 4, 1974, pp. 451-477.