CARACTÉRISATION DE JETS SUBCRITIQUES ET SUPERCRITIQUES PAR UNE MÉTHODE D'IMAGERIE ACOUSTIQUE

C. DINE, D. GÉLY et G. ELIAS

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

RESUME

Une étude expérimentale visant à caractériser le rayonnement acoustique des jets subcritiques et supercritiques a été réalisée par l'ONERA au CEPr dans la soufflerie anéchoïque CEPRA 19 utilisée comme chambre sourde. L'intérêt de cette étude réside dans la mise en oeuvre d'une antenne linéaire focalisée pour repérer la position des sources acoustiques dans les jets. Une analyse des résultats expérimentaux est effectuée dans le but de dégager une loi adimensionnelle donnant la position des sources sur l'axe du jet en fonction de la fréquence.

ABSTRACT

An experimental investigation conducted to characterize subcritical and supercritical jets acoustic field, was performed by ONERA at CEPr in CEPRA 19 anechoic wind tunnel used as an anechoic room. The main interest of this study is the use of focused antenna processing to localize acoustic sources. From the acoustic pictures obtained, several results were found, especially a dimensionless relation between jet acoustic sources position and frequency available for all the speed tested.

1. INTRODUCTION

Une technique de localisation de sources à partir d'une antenne linéaire focalisée développée par l'ONERA a été utilisée pour caractériser le bruit de jets subcritiques et supercritiques.

Les investigations ont été menées sur une tuyère convergente simple alimentée en air froid et chaud sur une large gamme de conditions génératrices. Ainsi, quatre vitesses d'éjection allant de 150 à 600 m/s ont été réalisées. Les images acoustiques obtenues mettent clairement en évidence la répartition des sources en fonction de la fréquence.

Ces analyses se trouvent complétées par l'étude des sources acoustiques attribuées aux cellules de choc.

2. TECHNIQUE D'ANTENNE FOCALISEE

Afin d'obtenir une bonne résolution spatiale, la localisation des sources du bruit de jets est effectuée à l'aide d'un réseau de microphones utilisé en antenne focalisée, dans un modèle de sources monopolaires réparties sur l'axe du jet. Le traitement est similaire à celui de la formation de voies classique utilisé pour les antennes de champ lointain, où le paramètre de localisation est la position angulaire d'une onde plane incidente. Ici, ce paramètre est le centre d'émission d'une onde sphérique. Ainsi, pour un point de focalisation F balayant l'axe du jet, la fonction de localisation, dite fonction de cohérence d'antenne, s'écrit :

$$\gamma^2(F) = \frac{U_F^* \Gamma U_F}{|U_F|^2 |T_r(\Gamma)|}$$

où U_f est le vecteur modèle pour un point de focalisation (dont les composantes sont les valeurs de la pression sur chaque microphone pour une onde sphérique émanant de F), Γ la matrice interspectrale des signaux des microphones et $T_r(\Gamma)$ sa trace.

3. ETUDE EXPERIMENTALE

3.1 Principe

Les investigations ont été faites sur une tuyère convergente simple de diamètre de sortie $D = 8$ cm dont les conditions génératrices varient. Quatre valeurs de la vitesse allant de 150 à 600 m/s ont été réalisées, plusieurs couples de pression et de température génératrices étant retenus pour une même vitesse selon la nature subcritique ou supercritique du jet.

3.2 Dispositif expérimental

Dans la soufflerie anéchoïque CEPRA 19 utilisée comme chambre sourde, l'antenne acoustique comprenant 20 microphones Brüel & Kjaer 1/4 pouce également répartis, est disposée parallèlement à l'axe de la tuyère à une distance de 1 m de celui-ci (fig. 1). Les microphones sont dirigés vers l'axe de la tuyère.

Fig. 1 - Dispositif expérimental.

3.3 Exploitation des résultats

Pour chaque condition génératrice, on a calculé l'image acoustique du jet en fonction de la fréquence et de la position axiale. A chaque fréquence, l'image met en évidence une ou plusieurs zones rayonnantes. Dans un premier temps et pour les besoins de l'étude, on ne s'intéresse ici qu'à la position du ou des maximum relevés.

Jet subcritique - Lorsque le jet est subcritique, le rayonnement acoustique est uniquement lié à la turbulence de la zone de mélange et l'image acoustique ne présente qu'une zone rayonnante à chaque fréquence (fig. 2).

Une analyse qualitative de l'image permet de retrouver le résultat suivant :

- ☛ les sources hautes fréquences sont proches du plan de sortie de la tuyère,
- ☛ les sources basses fréquences sont éloignées du plan de sortie de la tuyère.

Fig. 2 - Localisation des sources acoustiques dans un jet subcritique.

On a tenté de regrouper l'ensemble des résultats obtenus pour dégager une loi donnant l'abscisse du maximum de la zone rayonnante en fonction de la fréquence. Différents nombres adimensionnels ont été essayés pour réduire les distances comme les fréquences.

Le meilleur regroupement (fig. 3) a été obtenu en prenant :

le rapport de l'abscisse axiale à la longueur du cône potentiel x_c défini par :

$$x_c = 3,45 (1 + 0,38 M_j^2) D, \text{ où } M_j \text{ est le nombre de Mach local en sortie de tuyère ;}$$

le nombre de Helmholtz H_e , ici défini par : $H_e = 0,1 \left(1 + \frac{T_j}{T_0} \right) \frac{fD}{c_0}$ où T_j est la température génératrice, T_0 la

température ambiante et c_0 la célérité du son ambiante. Il est remarquable, en particulier, que le regroupement soit meilleur si l'on considère H_e plutôt que le nombre de Strouhal. Le faisceau de courbes obtenu présente un écart relatif de 20 %.

Notons cependant que si le cas $V = 150 \text{ m/s}$ n'est pas pris en compte, l'écart relatif n'est que de 10 %.

Fig. 3 - Regroupement des résultats de localisation.

Jet supercritique - Pour un jet supercritique issu d'un convergent simple, on sait que le bruit de jet possède deux composantes : le bruit de mélange et le bruit de choc (particulièrement en hautes fréquences) dû au passage des structures tourbillonnaires au travers de la structure de choc du jet. Il semble, sur la figure 4, que la localisation ait isolé ces deux composantes. Aux basses et moyennes fréquences, l'image est semblable à celle obtenue en condition subcritique. Par contre, aux fréquences élevées, on remarque une série de maximums dont les abscisses sont indépendantes de la fréquence et qui pourraient être celles des extrémités des cellules de choc.

Pour s'en assurer et en l'absence de moyens de visualisation lors de l'expérience qui aurait pu permettre une comparaison directe, on a comparé la distance moyenne entre deux maximums sur l'image et la longueur d'une cellule de choc déduite de l'expression empirique : $\Delta L = 1,1 (M^2 - 1)^{0,5}$ où M est le nombre de Mach du jet parfaitement détendu.

Le faible écart obtenu (7 % pour M = 1,36 ; 4 % pour M = 1,46) semble encourageant, sinon concluant.

Fig. 4 - Localisation des sources acoustiques dans un jet supercritique.

4. CONCLUSIONS

La localisation des sources acoustiques du bruit de jet est un moyen expérimental intéressant, tant pour son intégration dans les méthodes de prévision de type semi-empirique que pour la confrontation avec des modèles théoriques de rayonnement. On a ainsi mis en évidence le rôle du nombre de Helmholtz, qui semble être celui qui gouverne la position des zones rayonnantes du bruit de mélange. De même, il semble que cette technique d'imagerie acoustique permette de localiser les zones de génération du bruit de choc.

Cependant, l'étude présente a été restreinte aux positions dominantes des sources de bruit. Il reste, par des techniques de traitement du signal adaptées à la nature étendue et plus ou moins corrélée des sources réelles de bruit, à en donner une description plus fine (étendue spatiale, amplitude, directivité).

REFERENCES

- K. Eldred, *Acoustics loads generated by the propulsion system*, NASA SP-8072, N 71-33195, June 1971.
- D.L. Martlew, *Noise associated with shock waves in supersonic jets*, AGARD, 1973.
- D.C. Pack, *A note on Prandtl's formula for the wave length of a supersonic gas jet*, Quart. J. Mech. & Appl. Math., Vol. 111, p. 2, 1950.
- G. Elias, C. Malmey, *Utilisation d'antenne focalisée pour la localisation de sources acoustiques*, Revue d'Acoustique, n° hors série, 11ème Congrès International d'Acoustique, Paris, Vol. 6, pp. 163-166, 1983.