

ACOUSTIQUE. — *Application de la méthode de causalité à l'étude du bruit d'un jet subsonique.* Note (\*) de MM. Daniel Juvé, Michel Sunyach et Jean Bataille, transmise par M. Edmond-A. Brun.

L'étude expérimentale du bruit aérodynamique émis par un jet froid subsonique est reprise ici en utilisant la méthode dite de causalité. La répartition des sources acoustiques au sens de Lighthill est analysée à partir de mesures de corrélation entre la pression acoustique rayonnée en champ lointain et les fluctuations de vitesse fournies par une sonde à fil chaud spécialement construite à cette intention.

Un jet subsonique à température ambiante, de vitesse  $U$  issu d'une buse circulaire  $S$ , de centre  $O$ , de diamètre  $D$  et d'axe  $Ox_1$ , s'écoule dans une atmosphère infinie et uniforme, caractérisée par sa vitesse du son  $a_0$  et sa masse volumique  $\rho_0$ . On montre sans difficulté que

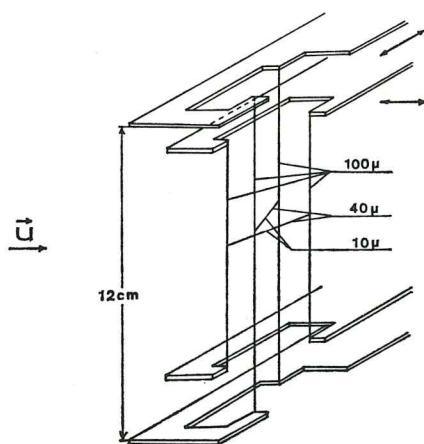


Fig. 1

la densité spectrale énergétique de la pression acoustique  $p$ , en un point du champ lointain situé dans le plan de la buse à une distance  $r$  de son centre, est donnée par

$$(1) \quad \overline{p^2}(r, f) = \frac{\rho_0}{r} \left\{ \frac{\pi f^2}{a_0^2} \int \left[ C \tilde{p} \tilde{v}_2^2 \left( f, \mathbf{y}, \frac{r}{a_0} - \frac{1}{2f} \right) + 2V_2 C \tilde{p} \tilde{v}_2 \left( f, \mathbf{y}, \frac{r}{a_0} - \frac{1}{2f} \right) \right] d\mathbf{y} \right. \\ \left. + \frac{f}{2} \int_S \left[ C \tilde{p} \tilde{v}_1 \left( f, \mathbf{y}, \frac{r}{a_0} - \frac{1}{4f} \right) + \frac{1}{a_0} C \tilde{p} \tilde{v}_1 \tilde{v}_2 \left( f, \mathbf{y}, \frac{r}{a_0} - \frac{1}{4f} \right) \right] dS \right\},$$

où  $f$ ,  $C \tilde{p} \tilde{\alpha}$ ,  $V$ ,  $\mathbf{v}$  désignent respectivement la fréquence, la covariance des composantes à la fréquence  $f$  des quantités  $p$  et  $\alpha$ , la vitesse moyenne et la fluctuation de vitesse en un point courant  $\mathbf{y}$  du jet. Cette formule généralise au cas où l'intégrale de surface ne serait pas négligeable un résultat obtenu par Siddon <sup>(1)</sup>. Elle est à la base d'une méthode dite de causalité destinée à localiser les sources de bruit au sens de l'analogie de Lighthill <sup>(2)</sup>, exploitée par Lee <sup>(3)</sup> et par Seiner <sup>(4)</sup>, qui consiste à déterminer expérimentalement les  $C \tilde{p} \tilde{\alpha}$ . Cependant, son succès semble compromis par la perturbation acoustique apportée par la

sonde comme l'a montré Rackl<sup>(5)</sup>. Ce genre d'étude a été repris ici en corrélant la pression acoustique en champ lointain mesurée par un microphone Brüel et Kjaer de 2,5 cm, et les fluctuations de vitesse fournies au point  $y$  par une sonde à fils chauds, décrite ci-dessous, dont la conception minimise l'influence de la perturbation mentionnée précédemment. Quatre fils de  $100\ \mu$  de diamètre sont fixés à des armatures suffisamment écartées pour se trouver toujours à l'extérieur du jet (*fig. 1*). Entre les arêtes opposées du parallélépipède qu'ils forment et à mi-hauteur sont soudés les deux fils de la sonde proprement dite, de

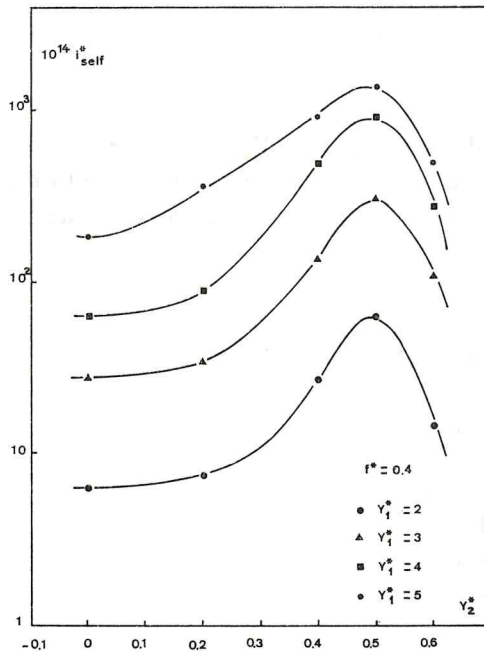


Fig. 2

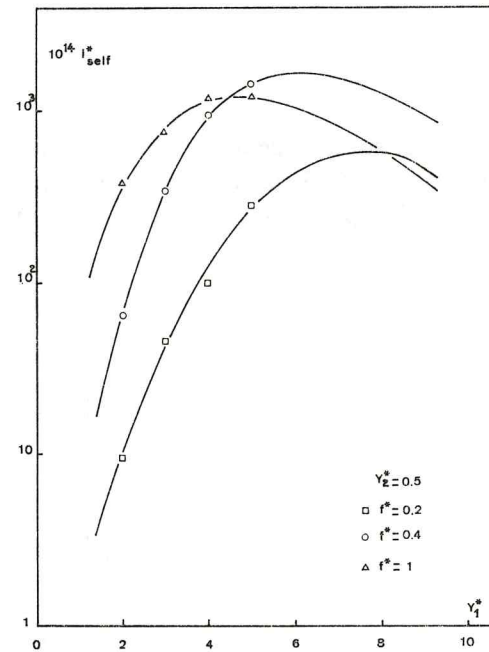


Fig. 3

diamètre  $40\ \mu$ , distants de 1 mm, et découpés jusqu'à un diamètre de  $10\ \mu$  sur une longueur de 1,5 mm. Leur positionnement relatif l'un à l'autre est obtenu par déplacement des armatures qui sont mobiles dans les directions longitudinale et transversale. Ces fils sont alimentés par deux anémomètres à température constante. Avant d'entrer dans le corrélateur, les signaux de vitesse et de pression sont filtrés par deux appareils identiques à pourcentage de bande constant ( $\Delta f/f = 30\%$ ).

Les différentes covariances  $C_{\tilde{p}\tilde{\alpha}}$  apparaissant dans la formule (1) ont été déterminées dans la chambre anéchoïque de l'Ecole Centrale de Lyon, pour un jet de diamètre 20 mm, de vitesse 105 m/s, en explorant systématiquement les sections  $y_1/D = 0,2; 1; 2; 3; 4; 5$ , avec un pas radial de 2 mm. Pour les sections  $y_1/D = 6; 7; 8; 9$ , la faible résistance mécanique de la sonde n'a autorisé que des mesures sur l'axe du jet.

L'intégrale de surface apparaissant dans l'équation (1) a été estimée à partir des mesures effectuées dans la section  $y_1/D = 0,2$ , la sonde ne permettant pas l'exploration de la section de sortie. On a pu s'assurer que la contribution au bruit total du jet des fluctuations de flux de masse et de quantité de mouvement dans le plan de sortie est négligeable, même à la vitesse assez faible de l'écoulement; l'évaluation par excès de l'intégrale donne

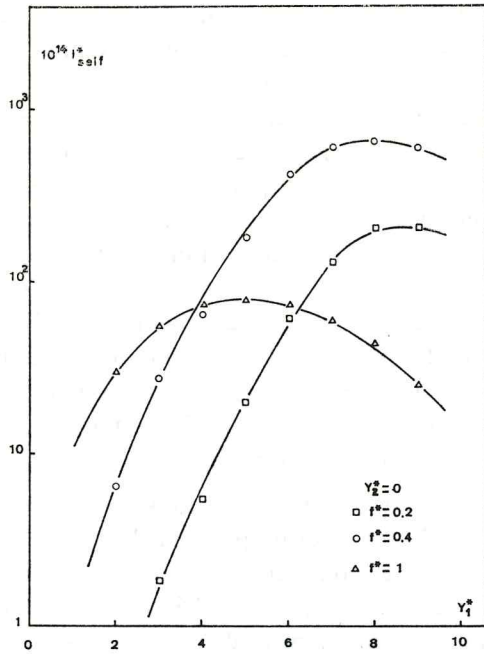


Fig. 4

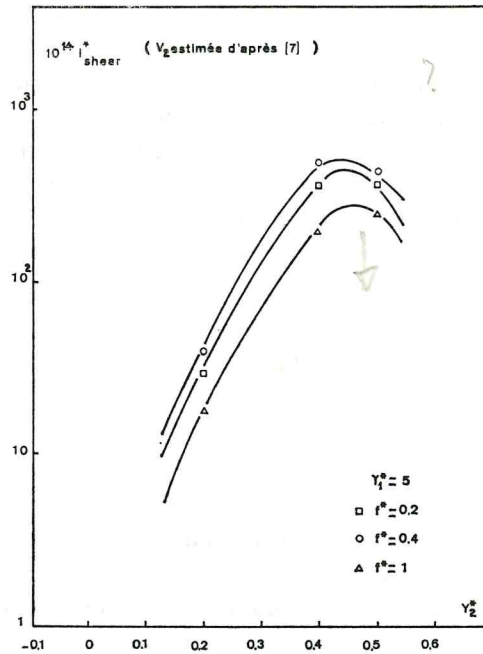


Fig. 5

en effet quelle que soit la fréquence une valeur inférieure d'au moins 16 dB à l'intensité sonore mesurée. Dans la suite, on s'intéressera donc exclusivement à la densité spectrale d'intensité sonore émise par un volume unité de turbulence centré en  $y$ , définie par

$$(2) \quad i(r, f, y) = \frac{1}{\rho_0 a_0} \frac{dp^2}{dy}(r, f, y).$$

En posant

$$(3) \quad r^* = \frac{r}{D}, \quad y_i^* = \frac{y_i}{D}, \quad f^* = \frac{fD}{U}, \quad M = \frac{U}{a_0}, \quad i^* = \frac{a_0^5 r^2}{\rho_0 U^8 D^2} i,$$

la formule précédente s'écrit sous forme adimensionnelle :

$$(4) \quad i^*(r^*, f^*, y^*) = i_{self}^* + i_{shear}^*$$

avec

$$(5) \quad \left\{ \begin{aligned} i_{self}^* &= \frac{\pi f^{*2} r^*}{M^2} \frac{C \tilde{p} \tilde{v}_2^2}{\rho_0 U^4}, \\ i_{shear}^* &= \frac{2\pi f^{*2} r^*}{M^2} \frac{V_2 C \tilde{p} \tilde{v}_2}{\rho_0 U^4}, \end{aligned} \right.$$

Sur les figures 2 à 5 sont tracées des courbes caractéristiques de l'évolution des densités spectrales et volumiques de « self-noise » et de « shear-noise » en fonction des coordonnées  $(y_1^*, y_2^*)$  et de la fréquence  $f^*$ . La figure 2 confirme que sur la plage  $0 \leq y_1^* \leq 5$ ,

la contribution au « self-noise » provient essentiellement de la zone de mélange, un net maximum apparaissant au centre de celle-ci ( $y_2^* = 0,5$ ), sauf au voisinage du sommet du cône à potentiel. L'évolution longitudinale du « self-noise » le long de la droite  $y_2^* = 0,5$  est indiquée sur la figure 3 pour  $0 \leq y_1^* \leq 10$ , à diverses fréquences. Au-delà de  $y_1^* = 5$ , les résultats indiqués sont obtenus par extrapolation des mesures effectuées sur l'axe du jet : les coefficients de corrélation  $R_{\tilde{p}\tilde{\alpha}}$  sont déduits de leurs valeurs pour  $y_2^* = 0$  et de l'évolution radiale relevée dans la section  $y_1^* = 5$ . On remarque que pour toutes les fréquences caractéristiques de l'émission sonore ( $0,2 \leq f^* \leq 1$ ), le maximum d'intensité est situé entre  $y_1^* = 4$  et  $y_1^* = 9$  et qu'il s'éloigne de la buse lorsque la fréquence diminue. Cette constatation est confirmée par l'examen de courbes analogues relatives à l'axe  $y_2^* = 0$  (fig. 4). La figure 5 comparée à la figure 2 montre que la contribution locale du « shear-noise » est importante, bien qu'on admette habituellement qu'elle est insignifiante, en un point d'écoute situé dans le plan de la buse. Toutefois, compte tenu des compensations qu'entraîne la symétrie du jet, son intensité globale pourrait être négligeable.

Il est intéressant de noter finalement que dans la plage de vitesses  $U$  utilisées, l'intensité sonore rayonnée par bande de fréquence ( $\Delta f/f = 30\%$ ) varie proportionnellement à  $U^6$  quelle que soit  $f$  et ce malgré toutes les précautions prises pour éliminer les bruits parasites. Puisqu'il n'est pas question d'attribuer cette anomalie (par rapport à la théorie de Lighthill) à des fluctuations de flux de masse ou de quantité de mouvement dans le plan de sortie de la buse<sup>(6)</sup>, il semble qu'il faille rechercher l'explication de cet « excess noise » dans une plus grande efficacité de l'émission acoustique aux faibles vitesses, liée à l'existence de structures turbulentes plus corrélées au sein du jet.

(\*) Séance du 31 mai 1976.

(1) T. E. SIDDON, *Noise Source Diagnostic Using Causality Correlations* (Agard Conference n° 131 on Noise Mechanisms, 1973).

(2) M. J. LIGHTHILL, *Proc. Roy. Soc.*, A 211 1952 p. 564-587.

(3) H. K. LEE, *Correlation of Noise and Flow of a Jet* (U.T.I.A.S., Report n° 168, 1971).

(4) J. M. SEINER, *The Distribution of Jet Source Strength Intensity by Means of a Direct Correlation Technique* (Ph D. Thesis, Pennsylvania State University, 1974).

(5) R. RACKL, *Two Causality Correlation Techniques Applied to Jet Noise* (Ph D. Thesis, University of British Columbia, 1973.)

(6) J. E. FLOWERS WILLIAMS et C. G. GORDON, *A.I.A.A. J.*, 3, 1965, p. 791-797.

(7) P. O. A. L. DAVIES, M. J. FISHER et M. J. BARRATT, *J.F.M.*, 15, 1963, p. 337-367.

École Centrale de Lyon,  
Laboratoire de Mécanique des Fluides,  
Équipe de Recherche associée au C.N.R.S.,  
36, route de Dardilly,  
69130 Écully.