

Modes de rétroaction d'un bruit de fente en présence d'un résonateur

Alexis Billon, Vincent Valeau et Anas Sakout

Laboratoire d'Etude des Phénomènes de Transfert Appliqués au Bâtiment (LEPTAB), Université de La Rochelle, Avenue Michel Crépeau, 17042 La Rochelle Cedex 01, France

INTRODUCTION

La turbulence d'un jet produit, à bas nombre de Mach, un bruit de faible intensité de type large bande. Le niveau sonore est largement renforcé si on introduit un obstacle dans l'écoulement. Certaines configurations géométriques, où une couche de cisaillement impacte sur un obstacle solide, produisent des sons harmoniques dits auto-entretenus, de forte intensité. Cet article concerne le bruit de fente (slot-tone), produit par l'impact d'un jet libre sur une plaque fendue.

Les premières expériences sur les sons auto-entretenus ont montré une évolution de la fréquence des sons produits proportionnelle à la vitesse moyenne du jet et inversement proportionnelle à la distance de l'obstacle et ont mis en évidence des valeurs minimums de vitesse et de distance nécessaire à l'existence des sons harmoniques (Sondhauss 1854). Rayleigh (1945) déduit qu'une rétroaction doit « revenir de l'obstacle vers l'origine du jet, probablement à la vitesse du son ». Rockwell (1983) explique que la rétroaction est en fait due à une impulsion de pression produite par la distorsion de la vorticité dans la région de l'impact. Elle revient vers l'origine du jet où elle donne naissance à de nouvelles perturbations amplifiées lors de leur convection par le jet. Ce mécanisme de rétroaction est appelé rétroaction hydrodynamique. Ainsi, des sons harmoniques ont été observés en régime laminaire pour le bruit de trou (configuration axisymétrique du bruit de fente) (Chanaud et Powell 1965). Ziada (1995) a observé une croissance continue de la fréquence avec la vitesse pour un bruit de fente en régime turbulent. Ce phénomène du bruit de fente est le résultat d'une amplification des instabilités de la couche de cisaillement (Billon et al. 2002a).

La boucle d'auto-entretien peut être renforcée par la création d'un autre chemin de rétroaction, appelé rétroaction acoustique (Chanaud et Powell 1965). Ce phénomène, crée par l'interaction du détachement tourbillonnaire avec un résonateur excité, a fait l'objet de nombreuses études (bruit de cavité, instruments à vent de type flûte...). En revanche, l'interaction des auto-oscillations du jet avec les résonances acoustiques du conduit dont débouche ce jet a rarement été étudiée. Wilson et al. (1971), lors d'expériences visant à modéliser le sifflement humain, ont noté une augmentation notable de la pression acoustique lorsque la fréquence des sons produits est proche de la fréquence d'une résonance d'un résonateur situé en amont. Dans le cas d'une tuyère siffiante, la fréquence des sons produits est contrôlée par la longueur du tube pr c dent la tuyère, donc par ses fréquences de résonance (Hill & Greene 1977).

Dans cet article, nous nous concentrerons sur l'interaction d'un bruit de fente avec un résonateur

constitué par le conduit dont débouche le jet, et l'effet de ce conduit sur le détachement tourbillonnaire de la couche de cisaillement du jet.

MATERIEL ET METHODE

Une soufflante crée un flux d'air qui traverse un volume d'amortissement puis un tube (190mmX90mm) et un convergent. Le jet libre d'une hauteur $H=10$ mm et de 190mm de largeur ainsi crée impacte sur une plaque fendue (Fig. 1).

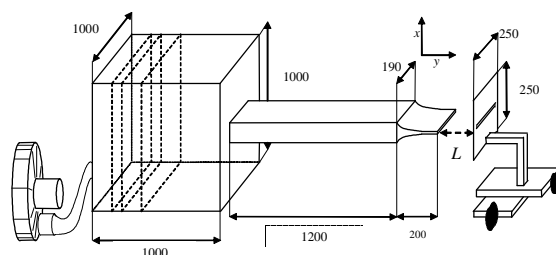


Figure 1. Schéma de l'installation expérimentale (dimension en mm)

La plaque est en aluminium de 4mm d'épaisseur et munie d'un trou biseauté   45  de dimensions identiques à la sortie du convergent et alignée avec celui-ci. La distance convergent-plaque, notée L , varie grâce à un système de déplacement (précis à 0.05mm). La vitesse du jet est mesurée à l'aide de sondes à fil chaud DANTEC 55R03 et la pression acoustique avec un microphone ACO Pacific 7013.

RESULTATS

La figure 2 représente le nombre de Strouhal lié aux sons auto-entretenus (construit sur H , sur la fréquence fondamentale f_0 des sons, mesurée en aval de la plaque, à l'abri des perturbations aérodynamiques, et sur la vitesse moyenne U_0 au centre du jet) en fonction du nombre de Reynolds caractéristique du jet Re_0 (construit sur U_0 et H), pour une position de la plaque fixée à $L/H=3,0$. Elle montre trois paliers du nombre de Strouhal qui correspondent à un nombre de tourbillons différents présents entre la sortie du jet et l'obstacle au même instant, ainsi qu'à des mécanismes de rétroaction distincts.

Dans cas d'une rétroaction hydrodynamique, Chanaud et Powell (1965) ont reporté une évolution du nombre de Strouhal par paliers croissants, dus au passage du jet vers un mode supérieur d'oscillation. Guérin (2001) a montré en revanche une évolution par paliers décroissants dans le cas d'une rétroaction acoustique, ce qui indique qu'un même mode du résonateur (dans son cas, un tube muni de deux diaphragmes en tandem) est excité pour différentes plages de vitesse, le nombre de tourbillons présents au

même instant entre la sortie du jet et l'obstacle diminuant lorsque la vitesse croît.

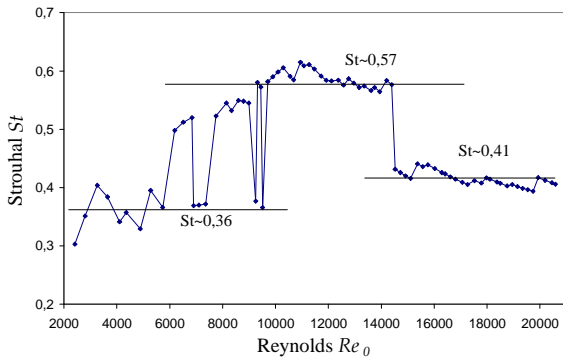


Figure 2. Nombre de Strouhal en fonction du nombre de Reynolds ($L/H=3,0$)

Pour accéder à ce nombre de tourbillons, l'évolution de la phase de l'instabilité de la couche de cisaillement a été mesurée pour chacun des trois paliers du nombre de Strouhal (respectivement pour les valeurs $Re_0=5700$, 8900 et 17000), la distance entre l'obstacle et la sortie du jet restant fixe ($L/H=3,0$). Une première sonde anémométrique est fixe, dans la couche de cisaillement formée à la sortie du convergent. La seconde est déplacée selon l'axe y depuis la première sonde jusqu'à 3 mm de la plaque. La figure 3 présente l'évolution de la différence de phase entre les deux signaux de vitesse en fonction de la position de la seconde sonde. Pour améliorer la lisibilité, la phase est tracée sur une échelle limitée à 360° . Une variation de la phase de 360° ou 720° indique par exemple la présence d'un ou de deux tourbillons respectivement entre la sortie du jet et la plaque. L'équation de Rossiter (1964) implique que le nombre de tourbillons présents au même instant soit un peu inférieur à un nombre entier.

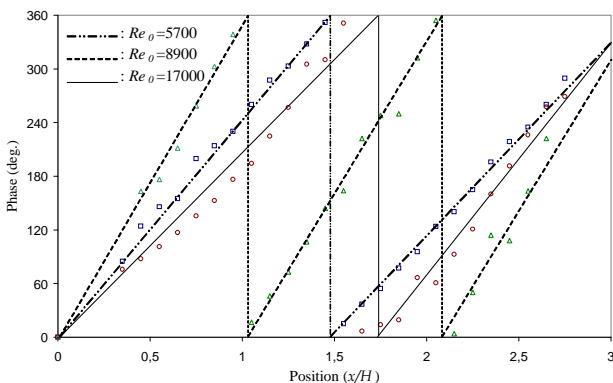


Figure 3. Diagramme de phase pour $Re_0=5700$, 8900 et 17000 ($L/H=3,0$)

L'évolution de la différence de phase est linéaire ce qui implique que les instabilités de la couche de cisaillement sont convectées à vitesse U_c quasi-constante ($U_c/U_0 \sim 0,9$). Pour le premier palier ($Re_0=5700$), la variation de la phase est de 685° donc deux tourbillons sont présents au même instant. Pour le deuxième palier, elle est de 1045° soit trois tourbillons et de 685° de nouveau (deux tourbillons) pour le troisième. On peut donc observer une évolution différente de celles observées à la fois par Chanaud et Powell (1965) et par Guérin (2001). Ceci est dû au fait que le mécanisme de rétroaction change avec le nombre de Reynolds.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Nous avons en effet montré (2002b) que lors du premier palier, les champs acoustiques à l'intérieur et à l'extérieur du tube sont faiblement corrélés. Plusieurs modes propres du tube sont excités, mais aucun n'est dominant. Pour les deuxième et troisième paliers, les champs acoustiques interne et externe sont en revanche fortement corrélés. Une unique fréquence résonante du tube est excitée, sur laquelle se calent les sons auto-entretenus.

Ainsi en dessous d'un nombre de Reynolds d'environ $Re_0 \sim 7000$ (premier palier), la rétroaction est hydrodynamique : la naissance d'un tourbillon est contrôlée par la vitesse induite par un tourbillon impactant au même instant sur la plaque et créé deux périodes acoustiques plus tôt.

Au-dessus de $Re_0 \sim 7000$, la rétroaction devient acoustique : la fréquence des sons auto-entretenus se cale sur des modes propres du tube dont le jet débouche. La dynamique du jet évolue en fonction du nombre de Reynolds. Le nombre de tourbillons présents au même instant entre la sortie du jet et la plaque diminue de trois (deuxième palier) à deux (troisième palier). Le nombre de Strouhal évolue ainsi par paliers décroissants similairement aux phénomènes observés pour des rétroactions acoustiques (Guérin 2001).

BIBLIOGRAPHIE

- Billon A., Sakout A. et Valeau V., 2002a ; *Etude expérimentale des sons auto-entretenus d'un jet plan impactant sur une fente dans un milieu non confiné*, VI^{ème} Congrès Français d'Acoustique, Lille.
- Billon A., Valeau V. et Sakout A., 2002b ; *Interaction of a slot-tone with a pipe*, First Pan-american/Iberian Meeting on Acoustics, Cancun, Mexique.
- Chanaud R.C. et Powell A., 1965 ; *Some experiments concerning the hole and ring tone*, J. Soc. Acoust. Am. **37**(5), pp. 902-911.
- Guérin S., 2001 ; *Réduction des sons auto-entretenus par effet Coanda sur des jets auxiliaires*, Thèse de Doctorat Université de La Rochelle.
- Hill W.G. Jr. et Greene P.R., 1977 ; *Increased turbulent jet mixing rates obtained by self-excited acoustic oscillations*, Trans. ASME, J. Fluids Engineering, pp.520-525.
- Rayleigh J.W.S., 1877 ; *Theory of sound*, 2 vols, McMillan, reprinted by Dover, 1945, New York.
- Rockwell D., 1983 ; *Oscillations of impinging shear layers* AIAA Journal, **21**(5), pp.645-664
- Rossiter J.E., 1964 ; *Wind tunnel experiments on the flow over rectangular cavities at subsonic and transonic speeds*, Aerau. Res. Council. Report and Memorandum n°3438
- Sondhauss H., 1854. Progg. Ann. **91**, pp.126-147.
- Wilson T.A., Beavers G.S., De Coster M.A., Holger D.K. et Regenfuss M.D., 1971 ; *Experiments on the fluid mechanics of whistling*, J Acoust. Soc. Am., **50**, pp.366-372.
- Ziada S., 1995 ; *Feedback control of globally unstable flows : impinging shear flows*, J. Fluid & Struct. **9**, pp.907-923.