

Influence de la température du fluide de soufflage sur le bruit de fente

M. GLESSER, A. BILLON, V. VALEAU, A. SAKOUT

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

Introduction

Les bouches de soufflage des systèmes de ventilation peuvent produire des sifflements de forte intensité. Pour étudier leur mécanisme de production un modèle expérimental où un jet rectangulaire heurte une plaque fendue est étudié. Cette configuration donne naissance à un type de sons auto-entretenus connus sous le nom de bruit de fente ([1], [2])

Le mécanisme de production des sons auto-entretenus est le suivant : en sortie du conduit, les faibles perturbations ambiantes, dites perturbations primaires, sont amplifiées par le jet lors de leurs convections pour ainsi former des structures tourbillonnaires. L'impact de celles-ci avec un obstacle, ici une fente biseautée, crée une seconde perturbation qui remonte l'écoulement et vient exciter le jet à sa naissance. Si la relation de phase entre ces deux perturbations est constructive, une boucle d'auto-entretien se crée, contrôlant la fréquence et amplifiant le niveau sonore. Trois éléments sont donc indispensables à la production de sons auto-entretenus : (i) un écoulement instable, (ii) une rétroaction et (iii) une relation de phase adéquate entre les perturbations primaires et secondaires.

Lorsque la perturbation secondaire revient directement à la naissance du jet, la rétroaction est dite directe. En revanche, si un résonateur situé à proximité est excité, renforçant le niveau sonore et contrôlant la fréquence, la rétroaction est dite indirecte.

Pour la configuration étudiée dans le présent article, la production sonore est le résultat d'une rétroaction directe dominante pour les bas nombres de Reynolds ($Re < 9500$) et d'une rétroaction indirecte (excitation d'un mode du conduit d'où débouche le jet) pour les hauts nombres de Reynolds [3].

Dans les systèmes de ventilation, l'air soufflé possède une température T_s différente de la température ambiante T_0 . L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de cette différence de température sur le comportement du système auto-entretenu dans le cas où $T_s > T_0$. Dans la suite de cet article, la condition $T_s = T_0$ sera appelé *cas isotherme* et la condition $T_s > T_0$, *cas anisotherme*. Ce dernier cas implique une différence de densité du fluide de soufflage entraînant trois effets principaux.

Pour prendre en compte l'influence du changement de densité sur le profil de décroissance axiale de la vitesse (c'est à dire dans le sens de l'écoulement), Laufer [4] propose de corriger la distance axiale, x , à l'aide de l'homothétie suivante :

$$\left(\frac{x}{\sqrt{A_0}} \right)_\theta = \sqrt{\frac{T_0}{T_s}} \left(\frac{x}{A_0} \right) \quad (1)$$

où A_0 est la surface de la bouche de soufflage et l'indice θ indique le cas non isotherme. Un changement de la vitesse axiale du jet non isotherme modifie la vitesse de convection

des tourbillons donc la relation de phase nécessaire à l'établissement des sons auto-entretenus. Ceci peut conduire à une modification de la fréquence de travail du système par rapport à son équivalent isotherme.

La différence de densité des fluides soufflé et ambiant crée une force de poussée verticale (selon z) soit vers le haut ($T_s > T_0$) soit vers le bas ($T_s < T_0$). Pour un jet rectangulaire, la modification de la trajectoire induite par cette force est décrite par [5] :

$$\frac{z}{A_0} = 0,0522 \left(\frac{x}{\sqrt{A_0}} \right)^3 A_r \quad (2)$$

où A_r est le nombre d'Archimède du jet. Cette déviation entraîne une modification de l'angle d'impact des structures tourbillonnaires sur la plaque donc des conditions de production sonore.

Enfin, le changement de densité du fluide au sein du résonateur implique la modification locale de la célérité du son (proportionnelle à $T^{1/2}$) donc de la fréquence des modes propres du résonateur [6].

Matériel et méthode

Un flux d'air, créé par une soufflante, traverse des résistances chauffantes (R), un volume d'amortissement puis un tube (190 x 90 mm) suivi d'un convergent créant un jet libre de hauteur $H=10\text{mm}$ de largeur 190mm et de vitesse U_0 (Figure 1).

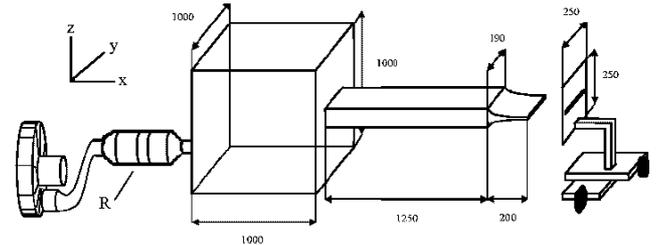


Figure 1 : Schéma de l'installation expérimentale (dimensions en mm)

Le jet heurte une plaque en aluminium de 4mm d'épaisseur, munie d'une fente biseautée à 45° de même dimensions que la sortie du convergent et alignée avec celui-ci. La distance convergent-plaque, notée L , est fixée à 30mm. La pression acoustique est mesurée grâce à un microphone ACO Pacific 7013 placé derrière la plaque, à l'abri des perturbations hydrodynamiques.

Afin de rester dans le cadre de l'application à la ventilation, une différence de température de 25°C entre le fluide de soufflage et le fluide environnant a été choisie (soit une température de soufflage de 50°C).

Résultats

La figure 2 montre l'évolution de la fréquence de jeu f_0 (fréquence la plus énergétique des sons mesurés) en fonction de la vitesse du jet, U_0 dans les cas isothermes et anisothermes. Dans les deux cas, l'évolution est semblable, discontinue par paliers représentant des valeurs du nombre de Strouhal (construit sur H , f_0 et U_0) constant. Ces valeurs correspondent à un nombre entier de tourbillons présent au même instant entre la sortie du convergent et la plaque [7]. Dans la présente configuration, un nombre de Reynolds de 9500 correspond à une vitesse de jet de 14m/s environ. Lorsque le système décrit les deux premiers paliers, il est

donc en rétroaction directe tandis que lorsqu'il décrit les deux derniers il est en rétroaction indirecte (le conduit de soufflage est excité acoustiquement).

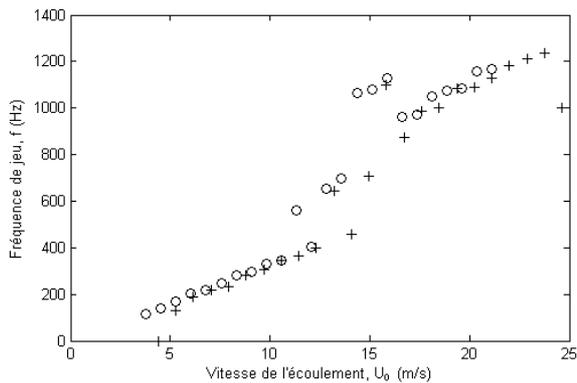


Figure 2 : Évolution de la fréquence de jeu en fonction de la vitesse du jet (o : cas isotherme ; + : cas anisotherme)

Néanmoins quelques particularités sont à relever. (i) Sur le premier palier (rétroaction directe), les deux courbes se superposent parfaitement. (ii) Au niveau des transitions entre paliers, des différences significatives sont observables, elles sont dues au fait que le système est très instable à ces vitesses. (iii) Les deux courbes se superposent moins bien au niveau du dernier palier (rétroaction indirecte).

La figure 3 présente la répartition fréquentielle des modes de résonance du conduit d'où débouche le jet dans le cas isotherme et dans le cas anisotherme. Les fréquences de résonance ont été évaluées expérimentalement à la température T_0 [8], et leurs valeurs à $T=T_s$, en ont été déduites théoriquement.

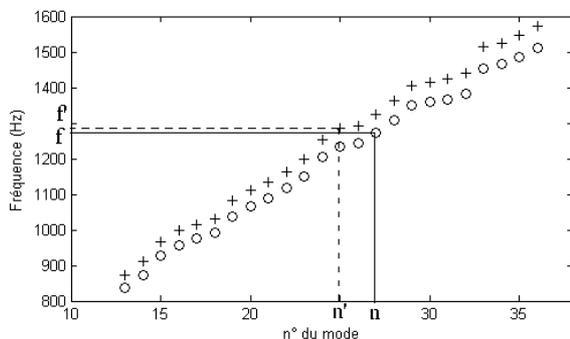


Figure 3 : Répartition fréquentielle des modes du conduit (o : cas isotherme ; + : cas anisotherme), d'après [8]

Discussion et conclusion

Un jet peut être décomposé en plusieurs zones remarquables, la première est appelée cône potentiel et s'étend de la naissance du jet jusqu'à 5 à 10 fois la hauteur du jet suivant la géométrie [9]. Dans cette zone, la vitesse moyenne au centre du jet est constante. Dans le cas d'une distance convergent/plaque $L/H=3$, la vitesse U_0 peut être considérée comme constante. L'homothétie de l'équation (1) n'a donc aucun effet.

Par ailleurs, dans la configuration étudiée, la déviation verticale du jet chauffé est de l'ordre de 10^3 mm (cf. eq. (1)).

Les résultats de la figure 2 en rétroaction directe montrent que ces deux phénomènes n'ont que peu d'effets sur le fonctionnement des sons auto-entretenus.

En rétroaction indirecte, le changement de profil du jet ainsi que sa déviation n'ont toujours pas d'effet, en

revanche, la modification des fréquences de résonance du conduit a un rôle prépondérant. Le changement de la célérité du son dans le conduit dû au chauffage entraîne un décalage des fréquences de résonance de ce conduit (cf. figure 3). Dans le cas anisotherme, le système va se caler sur le mode (n') dont la fréquence de résonance (f') est la plus proche de celle (f) du mode (n) excité dans le cas isotherme, afin que la rétroaction conserve une relation de phase favorable. Dans la configuration présente, la densité de mode est suffisante pour que le système se cale, dans le cas anisotherme, sur une fréquence de jeu proche de celle excitée dans le cas isotherme. Cela explique que l'évolution globale de la fréquence en fonction de la vitesse est identique dans les deux cas, lorsque le système décrit le dernier palier, malgré une concordance moins parfaite que sur le premier palier.

Dans la configuration présente et pour des écarts de température entre le fluide de soufflage et le fluide ambiant de l'ordre de 25°C , aucun changement notable du comportement du système n'est observable. Des différences plus marquées pourraient être obtenues en rétroaction indirecte pour une géométrie de conduit impliquant une densité de modes plus faible.

Cette conclusion quant au comportement global du système a été confirmée par des mesures vélocimétriques permettant de vérifier (i) l'inefficacité de la force de poussée due à la différence de densité, (ii) l'absence d'influence de la modification de la décroissance de la vitesse axiale du jet. Enfin des mesures systématiques ont été entreprises en variant les paramètres Re et L/H , aucun changement notable du domaine d'existence des sons auto-entretenus ni du niveau sonore produit n'a été observé entre les cas isothermes et anisothermes.

Références

- [1] Blake, W.K., Powell, A., *The development of contemporary views of flow-tone generation*, in Recent advances in aeroacoustics, by Krothapalli, A., Smith, C.A., 1986, Springer Verlag, Part III : Generation and propagation.
- [2] Ziada, S., *Interaction of a jet-slot oscillator with a deep cavity resonator and its control*. Journal of Fluids and Structures, 2001. **15**(6): p. 831-843.
- [3] Billon, A., V. Valeau, and A. Sakout, *Two feedback paths for a slot tone*. Journal of Fluids and Structures (soumis)
- [4] Laufer, J., *Turbulent shear flows of variable density*. JAIAA, 1969. **7**: p. 706-12.
- [5] Koestel, A., *Paths of horizontally projected heated and chilled jets*. Trans. ASHAE, 1955. **61**: p. 231-32.
- [6] Bruneau, M., *Manuel d'acoustique fondamentale*. 1998, Paris: Editions HERMES.
- [7] Billon, A., V. Valeau, and A. Sakout. *Modes de rétroaction d'un bruit de fente en présence d'un résonateur*. in 6ème Congrès de Mécanique. 2003. Tanger, Maroc.
- [8] Billon, A., *Étude expérimentale des sons auto-entretenus produits par un jet issu d'un conduit et heurtant une plaque fendue*. 2003, Thèse de Doctorat Université de La Rochelle.
- [9] Awbi, H.B., *Principles of air jets*, in *Ventilation of Buildings*. 1991, Chapman & Hall. p. 99-127.