

Sifflement de diaphragmes en conduit soumis à un écoulement subsonique turbulent

Thèse présentée par Romain Lacombe,
dirigée par Yves Aurégan, directeur de recherche au CNRS
et encadrée par Pierre Moussou, ingénieur-chercheur à EDF R&D

Les organes de robinetterie présents dans les centrales électriques engendrent différentes nuisances sonores lorsqu'ils sont soumis à un écoulement. Les niveaux de bruit mesurés et les vibrations résultantes peuvent dépasser les limites acceptables du point de vue de l'exposition des travailleurs et de la sécurité des installations. Des outils de compréhension et de prédiction des phénomènes associés sont donc recherchés.

Les travaux de cette thèse concernent le sifflement engendré par les diaphragmes et proposent différents outils d'analyse sur la base d'expérimentations et de calculs numériques. Les écoulements considérés sont turbulents, avec des nombres de Reynolds dans les conduits supérieurs à 10^4 , et, pour la plupart, à nombre de Mach inférieur à 0,1. Le point de départ de la thèse repose sur un critère expérimental de sifflement potentiel, exprimé à partir des coefficients de la matrice de diffusion acoustique d'un diaphragme, critère vérifié expérimentalement lors de la thèse de Philippe Testud.

Dans un premier temps, la caractérisation du potentiel de sifflement de diaphragmes a été étendue à des nombres de Reynolds plus importants que ceux testés auparavant sur le banc d'essai du LAUM, qui sont typiquement de l'ordre de 10^4 . Des essais similaires ont été effectués sur le banc de mesure Clarinette d'EDF pour des nombres de Reynolds de l'ordre de 10^6 . Une procédure de mesure de la matrice de diffusion des diaphragmes a ainsi été adaptée et mise en œuvre sur cette installation. Il est apparu que le nombre de Reynolds a peu d'influence sur le potentiel de sifflement d'un diaphragme.

Dans un deuxième temps, le critère de sifflement a été généralisé à une série de diaphragmes. En utilisant la matrice de diffusion individuelle des deux diaphragmes, et en prenant en compte la propagation acoustique entre ces deux diaphragmes, un modèle global de matrice de diffusion des deux diaphragmes a été élaboré et caractérisé expérimentalement. La comparaison avec l'expérience présente un très bon accord dans la limite d'une distance entre diaphragmes supérieure à environ dix diamètres. Il apparaît que la distance entre les diaphragmes est un paramètre essentiel du potentiel de sifflement, et que l'amplification acoustique par deux diaphragmes peut largement dépasser le double de l'amplification acoustique d'un seul diaphragme. En deçà de dix diamètres, une autre représentation, documentée dans la littérature, s'applique.

La troisième partie des travaux s'attache à l'étude des fréquences et des niveaux acoustiques du sifflement établi. Différentes séries d'essai réalisées sur le banc de mesure du LAUM ont permis d'analyser l'effet de l'environnement acoustique sur la fréquence et l'amplitude du sifflement. Un résultat majeur de la thèse est que l'amplitude du sifflement peut atteindre des niveaux correspondant à un rapport u/U allant de 0,01 jusqu'à 0,15, où u est l'amplitude zéro-crête de la vitesse acoustique et U la vitesse d'écoulement stationnaire. Cette amplitude est maximale pour une fréquence associée à un nombre de Strouhal de 0,25, et elle augmente avec la réverbération acoustique de la ligne.

Finalement, la quatrième partie se propose d'évaluer l'apport des simulations numériques en mécanique des fluides pour la caractérisation du sifflement de diaphragmes. Des calculs U-RANS (Unsteady Reynolds Averaged Navier Stokes) ont été effectués avec un modèle de turbulence incompressible $k-\omega$ SST et un maillage à deux dimensions qui force la solution axisymétrique. Des calculs LES (Large Eddy Simulation) compressibles ont également été réalisés en trois dimensions. Il apparaît que la simulation numérique permet de reproduire l'effet d'amplification des ondes acoustiques qui est à l'origine du sifflement. Pour parvenir à ce résultat, l'expérience montre qu'il est indispensable de fortement raffiner le maillage au voisinage du point de décollement, avec une taille de maille typique de l'ordre de $40 \mu\text{m}$ pour une vitesse d'écoulement de 9 m/s. Cette taille de maille doit garantir que la cellule fluide au voisinage du point de décollement reste dans la partie linéaire de la couche limite turbulente.

Mots-clefs Sifflement, diaphragme, aéroacoustique, matrice de diffusion, instabilité aérodynamique, oscillations auto-entretenues, méthode à deux sources, simulations RANS, LES.