

Étude du rayonnement acoustique et des mécanismes de rétroaction des jets impactant une plaque trouée par simulation des grandes échelles

Résumé

Dans ce travail de thèse, le rayonnement acoustique et les mécanismes de rétroaction des jets impactant une plaque trouée sont étudiés à l'aide de simulations numériques. Dans ces simulations, les équations de Navier-Stokes instationnaires et compressibles sont résolues en coordonnées cylindriques en utilisant des schémas aux différences finies d'ordre élevé à faible dissipation et faible dispersion.

Dans un premier temps, cinq jets à un nombre de Mach variant entre 0.75 et 1.1 impactant une plaque pleine sont simulés. Un fort rayonnement tonal vers l'amont est mis en évidence. Ce rayonnement est lié à l'établissement d'une boucle de rétroaction entre la buse et la plaque. Les ondes acoustiques neutres des jets ferment cette boucle de rétroaction.

Dans un deuxième temps, l'influence d'un trou dans la plaque sur les mécanismes de rétroaction est étudiée à l'aide de quatre simulations de jets à un nombre de Mach de 0.9 impactant une plaque avec et sans trou. Pour les quatre jets, une boucle de rétroaction s'établit entre le jet et la plaque. Les niveaux de bruit associés sont les plus élevés pour le jet impactant la plaque pleine et ils diminuent lorsque le diamètre du trou augmente. Ils dépendent de la force des interactions entre le jet et la plaque. Pour la plaque pleine et les plus petits trous, ils sont produits par l'impact des structures du jet sur la plaque, tandis que pour le plus grand trou, ils sont créés par la diffraction de la pression aérodynamique du jet par les bords du trou.

Finalement, six simulations de jets supersoniques sur-détendus à un nombre de Mach d'éjection de 3.1 sont mises en œuvres. Un jet est libre, un deuxième impacte une plaque pleine et quatre autres une plaque trouée dans le but d'analyser les effets de la plaque, de la présence et du diamètre du trou sur l'écoulement et le rayonnement acoustique. Comme dans le cas des jets à un nombre de Mach de 0.9, les niveaux acoustiques sont les plus élevés pour le jet impactant la plaque pleine et ils diminuent avec le diamètre du trou, ce qui est dû à des interactions plus faibles entre le jet et la plaque. Le bruit rayonné vers l'amont est dominé par le bruit d'impact, tandis que les réflexions des ondes de Mach sur la plaque sont négligeables.

Mots clé : bruit de jet, aéroacoustique, jet impactant, plaque trouée, rétroaction, écoulements supersoniques, simulation des grandes échelles

Investigation of the acoustic radiation and of the feedback mechanisms of jets impinging on a plate with a hole by large-eddy simulations

Abstract

The acoustic radiation and the feedback mechanisms in jets impinging on a plate with a hole are investigated using numerical simulations. In these simulations, the unsteady and compressible Navier-Stokes equations are solved in cylindrical coordinates using high-order low-dissipative and low-dispersive finite difference schemes.

Five jets at a Mach number varying between 0.75 and 1.1 and impinging on a plate are first simulated. An intense tonal upstream radiation is highlighted. This radiation is related to the establishment of a feedback loop between the nozzle and the plate. The neutral acoustic wave modes of the jets are found to close this feedback loop.

The effects of a hole in the plate on the feedback mechanism is then studied by considering four simulations of jets at a Mach number of 0.9 impinging on a plate with and without a hole. For the four jets, a feedback loop establishes between the nozzle and the plate. The associated sound levels are highest for the jet impinging on the full plate and they decrease as the hole diameter increases. They depend on the strength of the interactions between the jet and the plate. For the full plate and the smallest holes, they are produced by the impingement of the jet turbulent structures on the plate, while for the largest hole, they are created by the scattering of the jet aerodynamic pressure by the hole edges.

Finally, six simulations of supersonic overexpanded jets at an exhaust Mach number of 3.1 are performed. One jet is free, a second impinges on a full plate and four others impinge on a plate with a hole in order to analyze the effects of the plate and of the presence and diameter of the hole on the flow development and on the sound radiation. As for the jets at a Mach number of 0.9, the acoustic levels are highest for the full plate and they decrease with the hole diameter, due to weaker interactions between the jet and the plate. The upstream radiated noise is dominated by the impingement noise, whereas the reflections of Mach waves on the plate are negligible.

Key words : jet noise, aeroacoustics, impinging jet, plate with a hole, feedback, supersonic flows, large-eddy simulation