

Étude numérique de l'injection d'eau pour la réduction du bruit de jet de lanceurs spatiaux

Résumé

Lors de la phase de décollage, le lanceur, sa charge utile ainsi que le pas de tir sont soumis à de fortes contraintes vibratoires, induites par le bruit des jets des propulseurs. Pour réduire ces contraintes sonores, une des méthodes, dans laquelle s'inscrit cette thèse, consiste à injecter de l'eau sur la table de lancement. De nombreuses études expérimentales ont permis de mettre en évidence et de caractériser la réduction acoustique par injection d'eau. Des études numériques ont également été menées, mais ne prennent pas en compte la totalité du mécanisme d'atomisation du jet liquide. L'objectif de cette thèse est de mettre en oeuvre et valider une méthode numérique permettant de simuler l'injection d'eau de la configuration à échelle réduite du banc d'essai MARTEL de l'institut Pprime, en prenant en compte l'atomisation primaire de la phase dense d'un jet liquide en une phase dispersée de gouttes. L'approche retenue pour le calcul de l'écoulement diphasique est une méthode à interface diffuse permettant la résolution des équations de Navier-Stokes en volumes finis sur maillages non structurés. Les gouttes sont simulées par un solveur dédié, couplé au solveur résolvant la phase dense du jet liquide. Dans un premier temps, la méthode numérique est mise en place et validée sur un jet de la littérature axisymétrique, dont le régime d'atomisation est similaire à celui de la buse du banc MARTEL. Des fluctuations de vitesse sont introduites en entrée de la buse par Synthetic-Eddy Method, et s'avèrent nécessaires pour obtenir une transition du jet liquide, dont les propriétés sont en bon accord avec celles de l'expérience. Le modèle d'atomisation retenu dans cette étude est ensuite activé pour générer un brouillard de gouttes. Dans un second temps, la méthode numérique est appliquée au calcul de l'écoulement dans la buse MARTEL et proche de sa sortie. Le jet simulé est plat et son angle d'évasement en sortie est conforme à ce qui est observé dans l'expérience. L'intensité de la Synthetic-Eddy Method est ensuite augmentée afin d'obtenir des niveaux de fluctuations de vitesse suffisants pour calculer la transition du jet. Dans un troisième temps, le jet de la buse MARTEL avec atomisation est simulé et étudié. La transition du jet est caractérisée par le développement de deux ondes d'instabilité successives à basse et à haute fréquence à l'interface liquide-gaz. La quantité de gouttes produites s'avère être négligeable devant la quantité de liquide présent sous forme dense au niveau de la zone d'impact entre le liquide et le jet principal de gaz du banc MARTEL. Le bruit produit par le jet d'une buse isolée est ensuite étudié. En particulier, ses niveaux sonores en champ proche sont bien plus faibles que les niveaux sonores du jet principal de gaz obtenus au niveau des buses d'injection d'eau. Les travaux réalisés dans cette thèse pourront par la suite être appliqués au calcul du bruit de jet de la configuration du banc MARTEL en présence d'injection d'eau.

Mots-clés : ÉCOULEMENTS DIPHASIQUES, BRUIT DE JET, AÉROACOUSTIQUE, CFD, SIMULATION NUMÉRIQUE, SIMULATION AUX GRANDES ÉCHELLES, ATOMISATION, TURBULENCE, TRANSITION, INSTABILITÉS, INTERFACE DIFFUSE.

Numerical study of water injection applied to the jet noise reduction of launch vehicules

Abstract

During a lift-off, the rocket, its payload and the launch pad are experiencing strong vibratory stresses induced by the noise of the motor jet plume. To reduce the sound levels, one of the methods, in which this thesis is included, consists in injecting water in the jet plume. Many experimental studies have highlighted and characterized the acoustic reduction by water injection. Numerical studies have also been performed, but did not take into account the entire mechanism of atomization of the liquid jet. The objective in this thesis is to use and validate a numerical method able to simulate the water injection of the reduced-scale configuration of the MARTEL test bench at the Pprime Institute, taking into account the primary atomization of the dense phase of the liquid jet into a dispersed phase containing droplets. To simulate the two-phase flow, the chosen approach uses a diffuse-interface method based on the resolution of the Navier-Stokes equations in finite volumes on unstructured meshes. The droplets are simulated by a separated solver, coupled to the main solver calculating the dense phase of the liquid jet. In a first step, the numerical method is set up and validated on an axisymmetric jet from the literature, whose atomization regime is similar to that of the nozzle of the MARTEL bench. Velocity fluctuations are introduced at the nozzle inlet by the Synthetic-Eddy Method, and is necessary to obtain a jet transition whose properties are in good agreement with those of the experiment. The atomization model used in this study is then activated to generate a spray. In a second step, the numerical method is applied to the calculation of the jet in the MARTEL nozzle and near its exit. The simulated jet is flat and its flare angle is consistent with that observed in the experiment. The intensity of the Synthetic-Eddy Method is then increased to obtain sufficient levels of velocity fluctuations to compute the jet transition. In a third step, the MARTEL nozzle jet is simulated with atomization and studied. The jet transition is characterized by the successive growth of a low and high frequency instability waves at the liquid-gas interface. It is found that the amount of droplets produced is negligible compared to the liquid quantity of the dense phase at the impact zone between the liquid and the main jet of the MARTEL bench. The noise produced by the jet of an isolated water nozzle is then studied. In particular, the sound levels in the near-field are much lower than the sound levels of the main gas jet obtained at the position of the water injection nozzles. The simulations conducted in this thesis can be applied in future works to the calculation of the main jet noise of the MARTEL bench configuration in the presence of water injection.

Keywords: TWO-PHASE FLOW, JET NOISE, AEROACOUSTICS, CFD, NUMERICAL SIMULATION, LARGE-EDDY-SIMULATION, ATOMIZATION, TURBULENCE, TRANSITION, INSTABILITY, DIFFUSE-INTERFACE.