Titre

Simulation dans le domaine temporel de la propagation acoustique en conduit traité en présence d'un écoulement : caractérisation et suppression des instabilités hydrodynamiques

Résumé

Il a été clairement établi expérimentalement que des instabilités hydrodynamiques peuvent être générées dans un conduit en présence d’écoulement quand un absorbant acoustique est placé sur une des parois. Ces instabilités apparaissent également dans les simulations numériques issues des équations d’Euler linéarisées, et empêchent une prédiction correcte des champs acoustiques. Les objectifs de la thèse sont de caractériser finement les instabilités qui apparaissent dans les simulations temporelles pour un conduit traité avec écoulement, de proposer des méthodes pour éviter leur génération et finalement d’évaluer leur efficacité.

Les méthodes numériques utilisées sont présentées dans un premier temps. Les équations d’Euler linéarisées sont résolues dans le domaine temporel avec des schémas aux différences finies d’ordre élevé, faiblement dissipatifs et dispersifs. Une condition aux limites d’impédance a été développée dans le domaine temporel spécifiquement pour ces schémas d’ordre élevé. Les études ont porté sur une série de cas test développée pour étendre le cas de référence, le conduit « NASA GIT », au cas de la propagation de modes supérieurs. Les résultats obtenus avec ces simulations dans le domaine temporel sont comparés avec ceux issus d’une méthode modale et ceux provenant d’un logiciel commercial résolvant les équations d’Euler dans le domaine fréquentiel par éléments finis. Un bon accord est observé entre ces trois méthodes et également avec les données issues des mesures. Il apparaît que des instabilités sont générées en simulation numérique, aussi bien dans le domaine temporel que fréquentiel.

Une analyse fine des instabilités générées dans les simulations temporelles est ensuite réalisée, par une analyse modale développée à partir de la méthode des caractéristiques. L’influence des paramètres numériques est précisée, notamment en termes de nombre d’ondes et de formes modales. Une convergence est observée quand la taille des éléments diminue. Par ailleurs, un réglage optimal du filtre sélectif spatial utilisé dans la résolution numérique doit être opéré, afin de retrouver les caractéristiques attendues pour l’instabilité. L’impact d’autres facteurs est également présenté : fréquence d’excitation, profil de la vitesse moyenne, impédance du traitement, …

Finalement, la méthode GTS (pour Gradient Term Suppression), qui a été proposée initialement pour éviter la génération d’instabilités dans des écoulements cisaillés, est mise en œuvre et évaluée dans les configurations précédemment étudiées. Elle consiste à réduire le terme lié au gradient de l’écoulement moyen dans les équations d’Euler linéarisées. L’étude montre qu’il existe un impact sur les champs acoustiques obtenus, notamment sur les modes se propageant dans le sens de l’écoulement. Ainsi la pression peut, selon les cas, être sous- ou sur- estimée de quelques dBs. Cette étude suggère ainsi que d’autres méthodes développées pour réduire les instabilités de Kelvin Helmholtz pourraient être efficaces dans le cas d’un conduit traité sous écoulement.

Mots clés : propagation acoustique en conduit, absorbant acoustique sous écoulement, simulation temporelle, instabilité hydrodynamique, suppression des instabilités.

Title

Time-domain simulation of sound propagation in a lined flow duct: characterization and suppression of hydrodynamic instabilities

Abstract

Hydrodynamic instabilities in a lined flow duct have been reported in several experiments. Such instabilities also appear in the numerical solutions of the linearized Euler equations and preclude the accurate prediction of the acoustic field. The objectives of the thesis are to finely characterize instabilities appearing in time-domain simulations of a lined flow duct, to propose methods to remove these instabilities and finally to evaluate their efficiency.

Firstly, the numerical methods are presented. The linearized Euler equations are solved in the time domain using high-order and low dissipative and dispersive finite-difference schemes. A time-domain impedance boundary condition developed for high-order methods is implemented. A series of test cases is proposed with the aim of extending the NASA GIT benchmark data for higher-order mode propagation. Results obtained with the time-domain simulations are compared to those obtained with a mode matching method and a commercial software that solves the linearized Euler equations in the frequency domain with a finite element method. A good agreement is found between the results for the three methods and the experimental data. The presence of an instability is shown in the solutions of the linearized Euler equations both in the frequency and time domain.

An analysis of instabilities generated in time-domain simulations is then conducted, using a modal analysis based on the method of characteristics. The impact of the numerical parameters on the properties of instabilities, namely wavenumber and mode shape, is investigated. A convergence is obtained as the mesh size decreases. In addition, a fine tuning of the spatial selective filter used in the numerical algorithm is necessary to retrieve the predicted characteristics of the instabilities. A parametric study is then performed to examine the effects of the source frequency, the mean flow profile and the impedance on the instability.

Finally, the gradient term suppression (GTS) method, originally proposed for avoiding the generation of instabilities in shear flows, is implemented and evaluated on the configurations previously studied. It corresponds to the reduction of the mean flow gradient term in the linearized Euler equations. The effectiveness of the method for a lined flow duct is illustrated. It is shown, however, that the acoustic field is impacted, especially for the downstream propagating modes. The sound pressure level can then be overestimated or underestimated by a few dBs. As a future work, this study indicates that other methods targeting Kelvin Helmholtz instabilities could also be adopted for the suppression of instabilities in a lined flow duct.

Key words: duct acoustics; lined flow duct; time-domain simulation; hydrodynamic instabilities; suppression of instabilities.