

Contribution à la vérification et à la validation d'un modèle diphasique bifluide instationnaire

Résumé

Les travaux de cette thèse contribuent à la vérification et à la validation d'un modèle diphasique instationnaire : le modèle bifluide de Baer-Nunziato, pour modéliser les phénomènes de transitoires hydrauliques tel que les coups de bélier et les marteaux d'eau, qui peuvent apparaître dans les tuyauteries des centrales et risquent d'endommager gravement les installations. Il s'agit d'abord de modéliser les écoulements de transitoires hydrauliques avec le modèle bifluide en représentation eulérienne, puis d'étendre ce modèle en formalisme ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) pour prendre en compte l'interaction fluide-structure (IFS).

Pour modéliser les écoulements, des lois de fermetures du modèle bifluide concernant les termes interfaciaux, les termes sources et les lois thermodynamiques ont d'abord été étudiées. Ensuite, le système complet a été simulé avec une méthode à pas fractionnaires qui admet deux étapes : la première étape consiste à résoudre la partie convective et la deuxième à prendre en compte les termes sources. Pour la partie convective, le schéma de Rusanov a d'abord été vérifié. Des problèmes de stabilité ayant été observés, un nouveau schéma plus stable à pas fractionnaires a été proposé et vérifié. En ce qui concerne les termes sources, quatre schémas de relaxation non-instantanés qui représentent respectivement le retour à l'équilibre de pression, les transferts de quantité de mouvement, de chaleur et de masse, sont appliqués successivement. Ces schémas ont été étendus aux lois thermodynamiques 'Stiffened Gas généralisées' afin de représenter le changement de phase eau-vapeur.

Après avoir retrouvé certains phénomènes typiques associés aux écoulements de transitoires hydrauliques (approche monophasique, vitesse de propagation des ondes de pression dans un mélange d'eau et d'air) avec des cas tests simples, le modèle bifluide a été confronté avec l'expérience de Simpson, qui est un cas classique de coup de bélier et l'expérience Canon, qui représente la décompression rapide d'un fluide à haute pression dans une tuyauterie, rencontrée, par exemple, en cas de rupture. Les résultats numériques sont en bon accord avec l'expérience. Par ailleurs, le modèle bifluide a été comparé avec deux modèles homogènes (un modèle à cinq équations et le modèle HRM) sur ces deux expériences, et se révèle le seul capable de retrouver les déséquilibres thermodynamiques observés dans l'expérience Canon.

Enfin, une version ALE du modèle bifluide a été développée et vérifiée sur un cas de propagation d'ondes de pression dans une conduite flexible, avec un écoulement 'quasi-monophasique' de l'eau liquide, ou diphasique de l'eau et de l'air. La variation de la célérité des ondes de pression dans le fluide liée au couplage entre le fluide et la structure a été bien retrouvée. La validation a été effectuée sur une expérience qui étudie la réponse d'une tuyauterie remplie d'eau soumise à un pic de pression violent (140 bar). Les simulations sont en bon accord avec les données expérimentales.