

Development and validation of bubble dynamics models for Hydrodynamic Ram events in fuel tanks

Thomas Fourest

Soutenance le 5 novembre 2015 à 10 h 00 devant le jury composé de :

M. Michel BOUSTIE	Directeur de Recherche, CNRS, Poitiers	Rapporteur
M. Ashwin CHINNAYYA	Professeur, ISAE-ENSMA, Poitiers	Rapporteur
M. Vincent FAUCHER	Ingénieur-Docteur (HDR), CEA, Saint-Paul-lès-Durance	Examineur
M. Bruno BLANKE	Chercheur CNRS, LPO, Brest	Examineur
M. Daniel FUSTER	Chercheur CNRS, Université Paris 6	Examineur
M. David VARAS	Maître de Conférences, Université Carlos III, MADRID	Examineur
M. Jean-Marc LAURENS	Maître de Conférences, ENSTA-Bretagne, Brest	Examineur
M. Eric DELETOMBE	Ingénieur (HDR), ONERA, Lille	Examineur

Résumé :

La thèse s'inscrit dans un axe de recherche visant à améliorer les connaissances et prédictions des chargements hydrodynamiques subis par les réservoirs de carburant lors d'impacts balistiques (coup de bélier hydrodynamique) pour améliorer la survivabilité de la structure. Les modèles numériques les plus avancés ne permettent toujours pas de simuler le phénomène complet. De plus les modèles développés sont trop coûteux pour être utilisés lors d'optimisations de réservoirs durant la phase de conception. L'étude proposée consiste à développer un modèle analytique capable de simuler la séquence d'expansion et d'effondrement de la bulle de cavitation et d'utiliser ce modèle pour déterminer les paramètres influant sur les chargements hydrodynamiques lors de coups de bélier hydrodynamiques.

Dans ces travaux, le modèle de Rayleigh-Plesset est modifié pour prendre en compte l'effet de confinement d'un réservoir sphérique sur la dynamique d'expansion de la bulle, en négligeant la présence du gaz dans la cavité, dans la prédiction des chargements hydrodynamiques. Ce modèle est appliqué à des cas expérimentaux de coup de bélier, en calibrant un paramètre de confinement lié à la rigidité de la structure. L'étape suivante consiste à évaluer la capacité d'un modèle analytique linéaire élastique (de type plaque) à estimer la valeur de ce paramètre de confinement. Un bon accord est trouvé entre cette valeur et celle calibrée précédemment, ce qui valide la méthode d'estimation de ce paramètre et supprime le besoin d'une calibration expérimentale. Puis le modèle incompressible de Rayleigh-Plesset est comparé à des simulations explicites éléments finis pour déterminer les effets de l'inertie de la structure et de la compressibilité du liquide sur la dynamique des bulles confinées. Enfin un modèle analytique de dynamique de bulles confinées, dans un liquide

compressible, est développé et validé. Pour cela une formulation basée sur l'équation de Keller-Miksis est proposée. La pertinence de ce modèle est vérifiée puis il est validé par rapport à des simulations éléments finis, ce qui permet d'estimer l'amélioration apportée par le modèle de Keller-Miksis dans la prédiction des chargements hydrodynamiques par comparaison au modèle de Rayleigh-Plesset. Finalement une analyse critique du travail de thèse et des perspectives est proposée.

Mots clés : Coup de bélier hydrodynamique ; Rayleigh-Plesset ; Keller-Miksis ; Simulation par éléments finis

The context of the thesis consists in improving the knowledge and the prediction capability of hydrodynamic loads applied on fuel tanks during ballistic impacts (Hydrodynamic Ram) to improve the survivability of aircraft structures. Today, even the most advanced numerical models cannot still simulate the whole HRAM phenomenon. Plus these models would be too expensive to be used for optimization or even design purpose during tank development stage. The proposed research consists in developing and in assessing analytical models capable of simulating the expansion and collapse of induced HRAM cavitation bubbles, and to use them to determine the parameters that influence the consecutive hydrodynamic loads predictions on the structure.

The HRAM problem state of the art, and the tests used in the present work are presented in the first chapter. In the second one the Rayleigh-Plesset model is modified to include the stiffness effect of spherical containers on confined bubble dynamics, when neglecting the presence of the gas on the hydrodynamic loads. This model is applied to HRAM test cases by calibrating a confinement parameter that is related to the structure rigidity. The next step presented in the third chapter studies the capability of an elastic linear analytical model (plate formulae) to estimate the value of such a confinement parameter. A good agreement is found with the calibrated value obtained in the previous chapter, which validates the calculation method and suppress the need for experimental calibration. In the fourth chapter, the incompressible Rayleigh-Plesset analytical model is compared to explicit finite element simulations to show the influence of the liquid compressibility on the dynamics of confined bubbles, which leads in the last and fifth chapter to the development of an analytical model for confined bubbles in a compressible liquid: a Keller-Miksis based formulation model is then proposed, the relevance of which is verified and validated again with respect to finite element simulations. Finally the improvement of hydrodynamic loads predictions using this new model is estimated by comparison with the Rayleigh-Plesset one.

Keywords: Hydrodynamic ram, Rayleigh-Plesset, Keller-Miksis, Finite element simulations