



Soutenance de thèse – Robin Le Mestre

**Modélisation des effets de fluides externes et internes sur
le comportement dynamique des dirigeables flexibles.**

Jeudi 16 juin 2022 à 9h30

lien JITS I : <https://rdv.onera.fr/SoutenanceTheseLeMestre>
(Configuration recommandée : navigateur Chrome)

Devant le jury composé de :

Examineurs :

M. Alban Leroyer (maître de conférence), Centrale Nantes
M. Roger Ohayon (Professeur émérite), Conservatoire National des Arts et Métiers Mécanique

Rapporteurs :

Mme Anne-Virginie Salsac (Directrice de Recherche CNRS), Université de Technologie de Compiègne
M. Jean Lerbet (Professeur), Université d'Evry

Directeur de thèse :

M. Olivier Doaré (Professeur), Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées

Co-Directeur de thèse :

M. Jean-Sébastien Schotté (Ingénieur de Recherche) ONERA Châtillon

Résumé / Abstract :

Cette thèse de doctorat porte sur la modélisation et la simulation des interactions fluide-structure entre un dirigeable souple, un écoulement externe et un gaz porteur interne. On considère que le fluide est potentiel du fait de la grande taille des dirigeables. L'écoulement potentiel est résolu sur un maillage de l'interface fluide-structure grâce à la Méthode des Éléments de Frontière, et le travail des efforts associés est obtenu par la Méthode des Éléments Finis. Les équations du fluide sont exprimées dans un formalisme Arbitrairement Lagrangien-Eulérien. Afin de se ramener à des calculs sur un maillage de référence invariant, on considère de grands mouvements d'ensemble (rotations et translations) auxquels s'ajoutent de petits mouvements de corps rigides et de petites déformations par rapport auxquels le problème fluide est linéarisé. Cela conduit en pratique à différencier les opérateurs de la Méthode des Éléments de Frontière pour caractériser la cinématique du fluide ainsi que les opérateurs de la Méthode des Éléments Finis pour déterminer les efforts associés exercés sur l'interface fluide-structure, ceci afin de prendre en compte les perturbations dans le domaine fluide liées aux mouvements de l'interface. La linéarisation permet d'exprimer les efforts du fluide à l'aide d'opérateurs de masse, gyroscopique et de raideur ajoutés, proportionnels respectivement à l'accélération, la vitesse et les déplacements de l'interface. De plus, un modèle simplifié d'ailerons basé sur la théorie de Theodorsen est utilisé afin d'ajouter leur portance au modèle. La partie structure du problème est modélisée à partir de la Méthode des Éléments Finis appliquée à une membrane. Celle-ci est précontrainte par la pression statique du fluide interne et de l'écoulement externe. Le modèle fluide-structure ainsi obtenu est utilisé pour étudier la stabilité d'un tel système couplé fluide-structure sur un cas test de dirigeable. Les opérateurs fluide-structure permettent d'obtenir les valeurs propres du système pour diverses vitesses du dirigeable. Le problème fluide-structure est coûteux à résoudre car les matrices de la Méthode des Éléments de Frontière sont pleines, et pour réduire la taille du problème, celui-ci est projeté sur une base réduite des modes de la structure dans le vide. Au-delà d'une vitesse critique, on constate qu'un risque de divergence par flottement apparaît. Enfin, la masse ajoutée obtenue par le modèle d'écoulement potentiel est comparée avec des résultats expérimentaux obtenus à partir d'une maquette rigide oscillant en rotation dans une cuve de fluide au repos. En faisant varier la fréquence d'oscillation de la maquette, la densité et la viscosité du fluide, on a pu caractériser, en fonction du nombre de Stokes, l'ordre de grandeur des efforts visqueux relativement aux efforts inertiels du fluide prédits pour un fluide potentiel.

This PhD thesis deals with the modeling and simulation of fluid-structure interactions between a flexible airship, an external flow and an internal lifting gas. The fluid is considered as potential due to the large size of the airships. The potential flow is solved on a mesh of the fluid-structure interface using the Boundary Element Method, and the work of the associated forces is obtained using the Finite Element Method. The fluid equations are expressed in an Arbitrary Lagrangian-Eulerian formalism. In order to calculate on an invariant reference mesh, we consider large rigid body motions (rotations and translations) to which are added small rigid body motions and small deformations with respect to which the fluid problem is linearized. This leads in practice to differentiate the operators of the Boundary Element Method to characterize the kinematics of the fluid and the operators of the Finite Element Method to determine the associated forces exerted on the fluid-structure interface, in order to take into account the perturbations in the fluid domain related to the movements of the interface. The linearization allows to express the fluid forces using added mass, gyroscopic and stiffness operators, proportional respectively to the acceleration, velocity and displacements of the interface. In addition, a simplified fin model based on Theodorsen theory is used to include their lift in the model.

The structural part of the problem is modeled using the Finite Element Method for a membrane. The membrane is prestressed by the static pressure of the internal fluid and the external flow. The fluid-structure model thus obtained is used to study the stability of such a coupled fluid-structure system on an airship test case. The fluid-structure operators are used to obtain the eigenvalues of the system at various speeds of the airship. The fluid-structure problem is expensive to solve since the matrices of the Boundary Element Method are full and to reduce the size of the problem, the latter is projected on a reduced basis of the structure modes in vacuum. We observe that beyond a critical velocity, a risk of divergence by flutter arises.

Finally, the added mass obtained by the potential flow model is compared with experimental results obtained with a rigid model oscillating rotationally in a fluid tank at rest. By varying the oscillation frequency of the model, the density and the viscosity of the fluid, it was possible to characterize the order of magnitude of the viscous forces compared to the inertial forces of the fluid predicted for a potential fluid as a function of the Stokes number.

Mots clés / Keys Words :

Masse ajoutée, Vibration, Aérodynamique, Dirigeable,

Added Mass, Vibration, Aerodynamics, Airships,