

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES HDR

NANTES UNIVERSITE

Spécialité : Sciences de l'ingénierie des Systèmes (SIS)

Par

Alban Leroyer

**Contribution aux méthodes numériques pour l'interaction
fluide-structure en hydrodynamique.**

Soutenance prévue le 12 Mai 2025 à 9h45

**Unité de recherche : Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Énergétique et Environnement
Atmosphérique, UMR-CNRS 6598, Ecole Centrale de Nantes**

Rapporteurs avant soutenance :

Miguel Angel FERNANDEZ
Emmanuel LE FRANÇOIS
Andrea MOLA

Directeur de Recherche, INRIA, Paris
Professeur des Universités, UTC, Compiègne
Assistant Professor, Scuola IMT Alti Studi, Lucca (Italie)

Composition du Jury :

Président : (à préciser après la soutenance)
Examineurs :

Bettar Ould EL MOCTAR
Elisabeth LACAZEDIEU
Nicolas CHEVAUGEON
Michel VISONNEAU

Professor, University of Duisburg-Essen, Duisburg (Allemagne)
Professeure des Universités, INSA Hauts-de-France, Valenciennes
Professeur des Universités, Nantes Université, Nantes
Directeur de Recherche émérite, CNRS-Centrale Nantes, Nantes

Invité(s)

Olivier CASTELNAU

Directeur de Recherche, CNRS-ENSAM Paris, Paris

Titre : Contribution aux méthodes numériques pour l'interaction fluide-structure en hydrodynamique

Mots clés : Interaction fluide-structure, Mécanique des Fluides numérique (CFD), Hydrodynamique

Résumé : Ce mémoire décrit l'ensemble des ingrédients et les méthodologies développées pour étendre efficacement les codes de calcul résolvant les équations de Navier-Stokes sur des configurations mettant en jeu des corps en mouvement, qu'ils soient rigides ou déformables. Le cadre de travail se concentre sur les écoulements incompressibles et isothermes à forts nombres de Reynolds autour de géométries complexes, traités par un formalisme Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE) avec un maillage s'appuyant sur la surface des corps (body-fitted). Après une description générale du problème, une revue bibliographique permet de positionner cette contribution par rapport aux différentes approches rencontrées dans la communauté scientifique, à savoir une approche partitionnée basée sur un couplage implicite interne associé à une stabilisation utilisant un opérateur approché de masse ajoutée.

Les différentes stratégies pour traiter efficacement ces configurations sont détaillées: les techniques de déformation de maillage développées sont présentées en explicitant leur avantages respectifs et leur limitations, les procédures pour obtenir l'opérateur de masses ajoutées approché sont décrites pour différents types de corps (rigide, modal, poutre, membrane). Les développements spécifiques pour réduire le temps de calcul de ces simulations sont aussi évoqués : sous-cyclage instationnaire de l'équation de transport de la fraction de volume, approche hybride ALE-Transpiration. Tout ceci est ensuite illustré sur des applications récentes dans des domaines variés, des sports nautiques (voile, aviron) à la géoscience (dynamique de retournement d'icebergs à proximité des glaciers).

Title : Contribution to numerical methods for fluid-structure interaction in hydrodynamics

Keywords : Fluid-Structure interaction, Computation Fluid Dynamics (CFD), Hydrodynamics

Abstract : This thesis describes the set of ingredients and methodologies developed to efficiently extend computational codes that solve the Navier-Stokes equations to configurations involving moving bodies, whether rigid or deformable.

The framework focuses on incompressible and isothermal flows at high Reynolds numbers around complex geometries, treated using an Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE) formalism with a body-fitted mesh.

After a general description of the problem, a literature review positions this contribution with respect to the various approaches found in the scientific community, namely a partitioned approach based on implicit internal coupling associated with a stabilization using an approximated added-mass operator.

The different strategies to efficiently handle these configurations are detailed: the developed mesh deformation techniques are explained by outlining their respective advantages and limitations, and the procedures to obtain the approximated added-mass operator are described for different types of bodies (rigid, modal, beam, membrane). The specific developments aimed at reducing the computation time of these simulations are also discussed: unsteady subcycling of the volume fraction transport equation, hybrid ALE-Transpiration approach. All of this is then illustrated through recent applications in various fields, ranging from water sports (sailing, rowing) to geoscience (iceberg capsizing dynamics near glaciers).