COLLEGE DOCTORAL PAYS DE LA LOIRE — SCIENCES DE L'INGENIERIE ET DES SYSTEMES

Nantes Université

MÉMOIRE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 602
Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes
Spécialité : *Mécanique des solides, des matériaux, des structures et des surfaces*

Par

Alexandre GANGLOFF

A numerical method for fast dynamic fluid-structure interaction

Une méthode numérique pour l'interaction fluide-structure en dynamique rapide

Thèse présentée et soutenue à « Lieu », le 30 novembre 2026
Unité de recherche : Institut de recherche en génie civil et mécanique

Rapporteurs avant soutenance :

Antonio J GIL	Professeur, Swansea University
Laurent MONASSE	Chargé de recherche, HDR, INRIA

Composition du Jury :

Président :	Prénom NOM	Fonction et établissement d'exercice *(à préciser après la soutenance)*
Examinateurs :	Sébastien BOYAVAL	Chargé de recherche, ENPC
	Antonio J GIL	Professeur, Swansea University
	Laurent MONASSE	Chargé de recherche, HDR, INRIA
	Maria Adelas PUSCAS	Ingenieure de recherche, CEA
	Laurent STAINIER	Professeur, Centrale Nantes
Dir. de thèse :	Nicolas CHEVAUGEON	Professeur, Nantes Université
Co-dir. de thèse :	Emmanuel LABOURASSE	Directeur de recherche, CEA
Encadrant :	Teddy CHANTRAIT	Ingénieur de recherche, CEA

COLLEGE SCIENCES
DOCTORAL DE L'INGENIERIE
PAYS DE LA LOIRE ET DES SYSTEMES

Nantes Université

Titre : Une méthode numérique pour l'interaction fluide-structure en dynamique rapide

Mot clés : Interaction fluide-structure, méthode de couplage, méthode Volume Finis, sous-cyclage temporel

Résumé : Cette thèse développe des méthodes numériques partitionnées pour l'interaction fluide-structure (IFS) en dynamique rapide, où la propagation d'ondes de choc à travers des interfaces mobiles exige robustesse et conservation stricte. Les équations d'Euler (fluide) et d'hyperélasticité (structure) sont écrites en formalisme semi-Lagrangien et discrétisées par des schémas volumes finis centrés aux cellules. Le couplage à l'interface est formulé comme un problème de minimisation sous contrainte, exprimé algébriquement sous forme d'un problème de point-selle assurant la conservation locale de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie ; le problème couplé est montré bien posé sous des hypothèses standard.
Une stratégie de sous-cyclage temporel découple les pas de temps du fluide et du solide selon leurs contraintes de stabilité respectives, sans interpolation à l'interface. Ce cadre partitionné permet des extensions naturelles vers l'ordre deux en espace, le pas de temps local, le glissement à l'interface, et les matériaux élasto-plastiques via un critère de von Mises, ainsi qu'une généralisation à un schéma Runge-Kutta d'ordre arbitraire préservant à la fois la précision temporelle et la conservation discrète.

Title: A numerical method for fast dynamic fluid-structure interaction

Keywords: Fluid-structure interaction, coupling method, Finite Volume method, time sub-cycling

Abstract: This thesis develops partitioned numerical methods for fluid–structure interaction (FSI) in fast dynamic regimes, where shock wave propagation across moving interfaces demands robustness and strict conservation. The Euler equations (fluid) and hyperelasticity equations (structure) are reformulated in an updated-Lagrangian frame and discretized using cell-centered finite-volume schemes. The coupling at the interface is formulated as a constrained minimization problem, expressed algebraically as a saddle-point problem ensuring the local conservation of mass, momentum, and energy; the coupled problem is shown to be well posed under standard assumptions.
A time sub-cycling strategy decouples the fluid and solid time steps according to their respective stability constraints, without interface temporal interpolation. This partitioned framework enables natural extensions toward second-order spatial accuracy, local time-stepping, sliding interfaces, and elastoplastic materials using a von Mises criterion, as well as a generalization to an arbitrary-order Runge–Kutta scheme that preserves both temporal accuracy and discrete conservation.