

## Avis de Soutenance

Monsieur Luc Lecointre

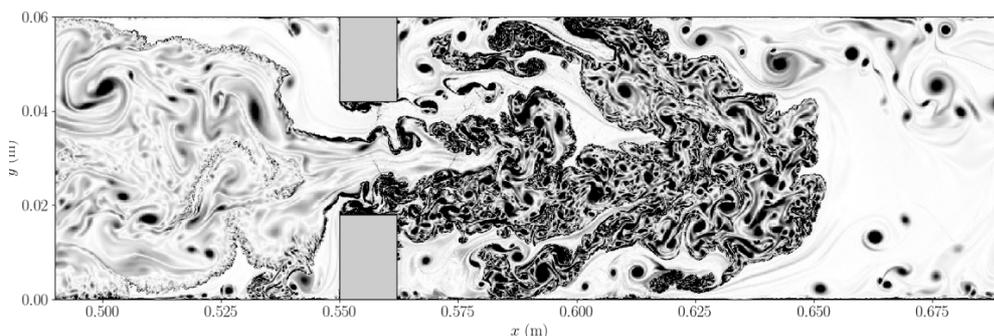
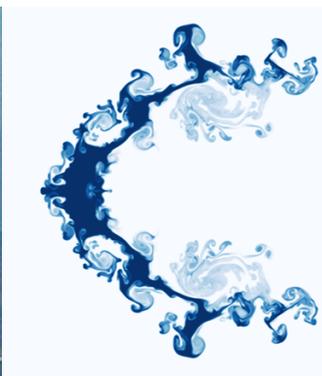
Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

*Accélération de flamme hydrogène en mélange non uniforme*

dirigés par Monsieur Christian Tenaud et co-encadrés par Monsieur Ronan Vicquelin,  
Monsieur Etienne Studer et Monsieur Sergey Kudriakov

Le **mardi 07 juin 2022** à 14h00

A CentraleSupélec, 3 rue Joliot-Curie, 91192 Gif-sur-Yvette Cedex  
Théâtre Rousseau (Bâtiment Bouygues)



### Composition du jury

M. Arnaud MURA  
M. Matei RADULESCU  
Mme. Pascale DOMINGO  
M. Marc MASSOT  
M. Christian TENAUD  
M. Ronan VICQUELIN  
M. Sergey KUDRIAKOV  
M. Etienne STUDER

Directeur de recherche, CNRS, INSIS  
Professeur, Université d'Ottawa  
Directrice de recherche, CNRS, Coria  
Professeur, École Polytechnique  
Directeur de recherche, CNRS, EM2C  
Professeur, CNRS, EM2C  
Ingénieur de Recherche, CEA  
Ingénieur de Recherche, CEA

Rapporteur  
Rapporteur  
Examinatrice  
Examinateur  
Directeur de thèse  
Encadrant  
Encadrant  
Encadrant

**Titre :** Accélération de flamme hydrogène en mélange non uniforme

**Mots clés :** Accélération de Flamme, Méthodes Haute Résolution, Combustion Hydrogène, Multi-résolution, Parois immergées, ISAT

**Résumé :**

Cette thèse, effectuée en partenariat avec le CEA, présente le développement de méthodes numériques dédiées à la simulation du processus d'accélération d'une flamme hydrogène.

L'accélération et la transition de la déflagration à la détonation des flammes d'hydrogène/air sont des problématiques clés pour la sûreté nucléaire. Elles présentent également un intérêt croissant pour les domaines énergétiques et industriels impliquant de l'hydrogène. La connaissance de ces phénomènes doit permettre de se prémunir contre les conséquences d'une inflammation de l'hydrogène lors d'une fuite ou lors de sa production accidentelle dans une cuve de réacteur nucléaire comme observé lors des accidents de Three Mile Island en 1979 ou de Fukushima-Daiichi en 2011.

L'objectif de ce travail est de proposer des méthodes numériques de haute résolution capables de prédire les phénomènes intervenant dans le processus d'accélération de flamme.

Pour cela, un solveur numérique d'ordre élevé a été développé, il se base notamment sur un schéma de Lax-Wendroff de haute résolution associée à une technique de capture de choc satisfaisant des contraintes de préservation de la monotonie. Ce schéma permet la simulation d'écoulements multi-espèces réactifs avec des équations d'état convexes.

Pour tenir compte de la variabilité des échelles spatiales, des outils de multi-résolution sont appliqués pour adapter localement le maillage. Des méthodes de paroi immergées ont également été intégrées pour permettre d'utiliser des configurations géométriques non triviales avec un maillage structuré.

La capacité du logiciel à reproduire les phénomènes fondamentaux en combustion et en détonation a été étudiée à travers une sélection de cas tests standards. Des dispositifs expérimentaux sont également simulés avec la transmission d'un front de détonation à travers un milieu poreux et la reproduction du tube d'accélération de flamme de l'université de Munich. Les résultats obtenus illustrent la capacité de nos méthodes à capturer avec précision les différentes étapes de l'accélération de flamme et la transition vers la détonation et à reproduire les observations expérimentales.

**Title :** Hydrogen flame acceleration in non-uniform mixtures

**Keywords :** Flame Acceleration, High-Resolution methods, Hydrogen Combustion, Multiresolution, Immersed Boundary, ISAT

**Abstract:**

This thesis, carried out with the support of the CEA, presents the development of numerical methods dedicated to the simulation of the acceleration process of a hydrogen flame.

The acceleration and the transition from deflagration to the detonation of hydrogen/air flames are critical issues for nuclear safety. They are also of growing interest in energy and industrial fields involving hydrogen. The knowledge of these phenomena must allow protection against the consequences of hydrogen ignition during a leak or its accidental production in a nuclear reactor containment, as observed during the accidents of Three Mile Island in 1979 or Fukushima-Daiichi in 2011.

This work aims to propose high-resolution numerical methods capable of predicting the phenomena involved in the flame acceleration process.

For this purpose, a high-order numerical solver has been developed based on a high-resolution Lax-Wendroff scheme associated with a shock-capturing method satisfying monotonicity preservation constraints. This scheme allows the simulation of reactive multi-species flows with convex equations of state.

To account for the variability of spatial scales, multiresolution techniques are applied to adapt the mesh locally. Immersed boundary methods have also been integrated to allow computing non-trivial geometrical configurations with a structured mesh.

The ability of the software to reproduce the fundamental phenomena in combustion and detonation has been studied through a selection of standard test cases. Experimental devices are also simulated with the transmission of a detonation front through a porous medium and the reproduction of the flame acceleration tube of the Technische of University Munich. The results illustrate the ability of our methods to accurately capture the different stages of the flame acceleration process and the transition to detonation and to reproduce the experimental observations.

