

## Avis de Soutenance

Monsieur Alexandre FOUGNIE

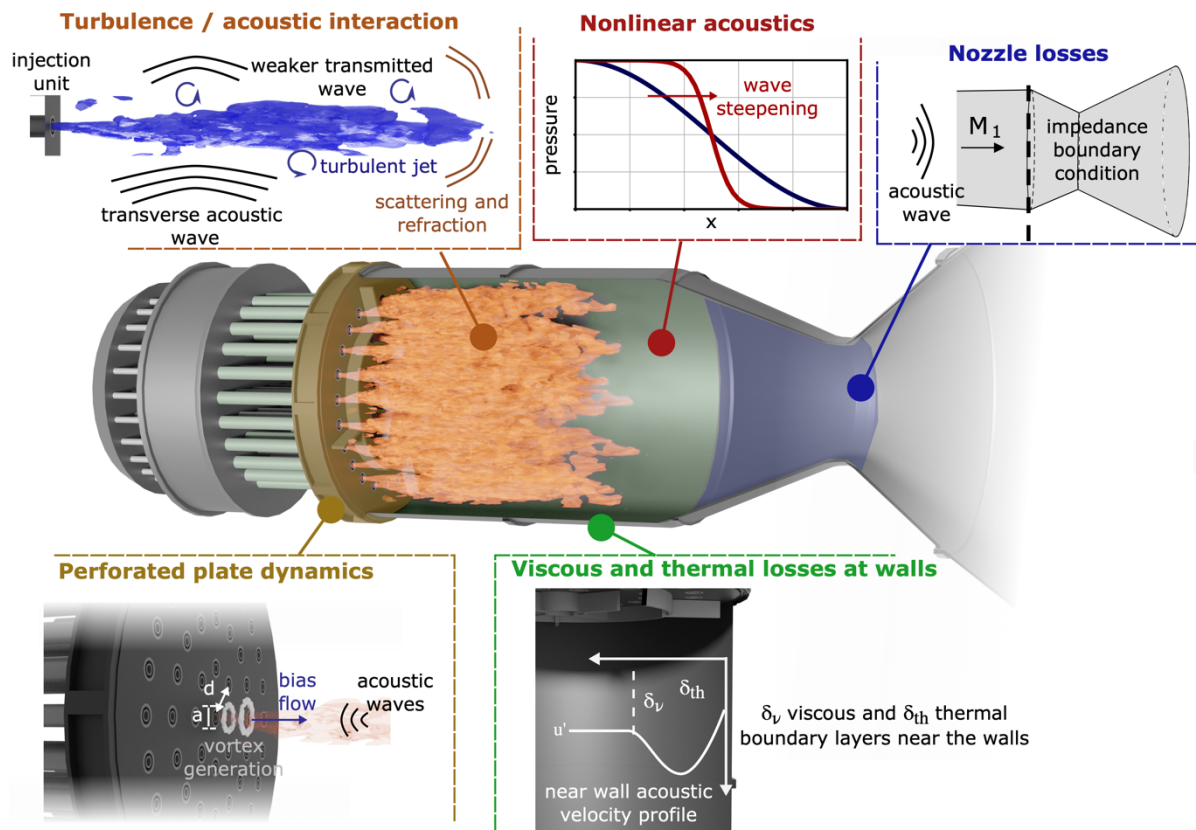
Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

### **Modélisation bas-ordre des instabilités de combustion à haute-fréquence dans les moteurs-fusées à propulsion liquide**

Thèse dirigée par **Sébastien DUCRUIX** et co-encadrée par **Thomas SCHMITT**, menée au laboratoire EM2C (CNRS) de CentraleSupélec, Université Paris-Saclay

Le jeudi 12 septembre 2024 à 14h00

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



*Mécanismes identifiés et modélisés comme étant responsable de l'amortissement acoustique des instabilités thermo-acoustiques dans les moteurs fusées à propulsion liquide*

### Composition du jury

Dr. Laurent GICQUEL	Chercheur senior, CERFACS	Rapporteur
Dr. Matthew JUNIPER	Professeur, Cambridge University	Rapporteur
Dr. Thierry SCHULLER	Professeur, Université de Toulouse III	Examineur
Dr. Marie THERON	Ingénieure, CNES	Examinatrice
Dr. Franck RICHECOEUR	Professeur, CentraleSupélec	Examineur
Dr. Justin HARDI	Head of Rocket Propulsion Technology, DLR	Invité
M. David MARCHAL	Ingénieur, ArianeGroup	Invité

**Titre :** Modélisation bas-ordre des instabilités de combustion à haute-fréquence dans les moteurs-fusées à propulsion liquide.

**Mots clés :** Instabilités de combustion, moteur fusée, amortissement acoustique, modélisation bas ordre

**Résumé :**

Les instabilités de combustion dans les moteurs fusées à propulsion liquide sont difficiles à prédire et à modéliser. Le laboratoire EM2C, en partenariat avec le CNES et ArianeGroup, développe donc StaHF, un code bas ordre basé sur le principe de projection modale des oscillations de pression afin d'estimer le taux de croissance des instabilités. Les phénomènes comme la réponse de la combustion sont modélisés via des termes sources. L'approche bas ordre est intéressante car elle nécessite des ressources numériques réduites, et est donc bien adaptée aux étapes de pré dimensionnement.

Cette thèse se découpe en trois parties principales, tout d'abord la présentation de l'outil bas ordre avec les modèles déjà présents et les ajouts faits concernant le code. Puis on présente les principaux mécanismes identifiés comme amortissant les oscillations acoustiques, comme les pertes via la tuyère, les pertes visqueuses, l'effet de l'acoustique non linéaire, et l'interaction de l'acoustique avec la turbulence.

Ensuite, la dernière partie met en application StaHF pour reproduire les résultats de deux bancs d'essais, le NPCC et le BKD.

Ce travail a permis d'étendre les capacités de prédiction du code StaHF, qui n'était pas équipé en termes d'amortissement. De plus, il a été ajouté la possibilité d'utiliser des FTF et FDF, ce qui a permis de modéliser la réponse de la modulation du débit de H<sub>2</sub> dans les lignes d'injections.

L'application sur le NPCC a montré que le comportement non linéaire de l'onde acoustique semble être le principal responsable de l'amortissement et de l'apparition du cycle limite. La modélisation du BKD permet de faire un cas d'application qui utilise l'ensemble des modèles d'amortissement, avec également plusieurs réponses de flamme, réponse en pression, en vitesse et modulation du débit de H<sub>2</sub>. Des ordres de grandeurs intéressants des taux de croissances et d'amortissement ont été obtenus.

**Title:** Low order modeling of high frequency combustion instabilities in liquid rocket engines

**Keywords:** Combustion instabilities, liquid rocket engine, acoustic damping, low order modeling

**Abstract:**

Combustion instabilities in liquid rocket engines are difficult to predict and model. The EM2C laboratory, in partnership with CNES and ArianeGroup, is therefore developing StaHF, a low-order code based on the modal projection of the pressure oscillations, to estimate the growth rate of instabilities. Phenomena such as combustion response are modeled via source terms. The low-order approach is interesting because it requires reduced numerical resources and is thus well suited to the pre-sizing stages.

This thesis comprises three main parts: first, a presentation of the low-order tool, with the models already present and the additions made to the code. Next, we present the main mechanisms identified as damping acoustic oscillations, such as losses via the nozzle, viscous losses, the effect of nonlinear acoustics, and the interaction of acoustics with turbulence. The final

section applies StaHF to reproduce the results of two test benches, the NPCC and the BKD.

This work extends the prediction capabilities of the StaHF code, which was not equipped in damping terms. Also, the ability to use FTF and FDF was added, making it possible to model the response of H<sub>2</sub> flow modulation in injection lines.

Application to the NPCC has shown that the nonlinear behavior of the acoustic wave appears to be the leading cause of damping and the appearance of the limit cycle. Modeling the BKD enables us to create an application case using the full range of damping models, as well as several flame response, pressure response, velocity response and H<sub>2</sub> flow modulation. Interesting orders of magnitude of growth and damping rates have been obtained.