Avis de soutenance

Monsieur Maxime LEROY

soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés :

Analysis of stabilization, structure and emissions of hydrogen-air flames on a coaxial injector for aircraft propulsion

Analyse de la stabilisation, de la structure et des émissions de flammes hydrogène-air sur un injecteur coaxial pour la propulsion aéronautique

(lien)

Thèse dirigée par Ronan VICQUELIN et co-encadrée par Clément MIRAT, Antoine RENAUD et Stefano PUGGELLI
menée au laboratoire EM2C (CNRS) de CentraleSupélec, Université Paris-Saclay

Le lundi 20 octobre 2025 à 14h00
À CentraleSupélec, 3 rue Joliot Curie, 91190 Gif-sur-Yvette
Amphithéâtre II (Bâtiment Eiffel)

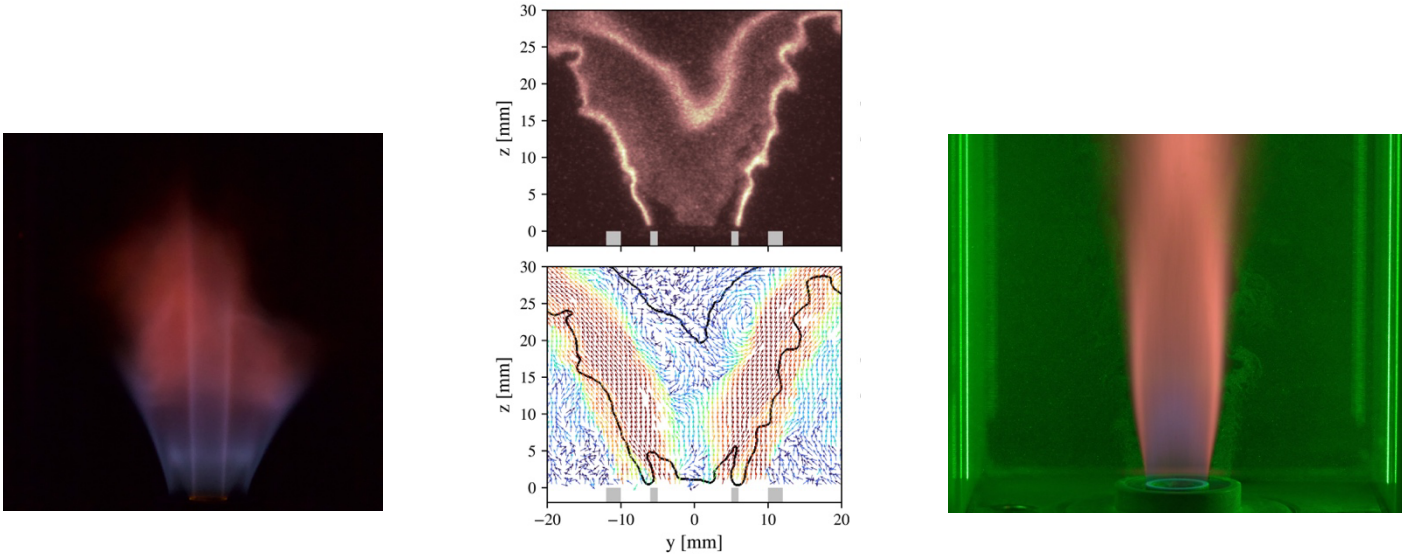

Figure 1: *De gauche à droite : Flamme d'hydrogène partiellement prémélangée sur un injecteur tricoaxial, image de flamme par OH-PLIF et champ de vitesse synchronisé, flamme d'hydrogène ensemencée de particules pour PIV*

Composition du jury

James DAWSON	Professor, NTNU	Rapporteur
Thierry SCHULLER	Professeur des Universités, Université Paul Sabatier	Rapporteur
Frédéric GRISCH	Professeur des Universités, INSA Rouen-Normandie	Examinateur
Guillaume PILLA	Ingénieur de Recherche, ONERA	Examinateur

ÉCOLE DOCTORALE
Sciences mécaniques et énergétiques, matériaux et géosciences (SMEMAG)

université PARIS-SACLAY

ÉCOLE DOCTORALE
Sciences mécaniques et énergétiques, matériaux et géosciences (SMEMAG)

Titre : *Analyse de la stabilisation, de la structure et des émissions de flammes hydrogène-air sur un injecteur coaxial pour la propulsion aéronautique*

Mots clés : Combustion turbulente, Oxydes d'azote, Hydrogène

Résumé :

À cause du défi grandissant du changement climatique, de plus en plus d'industries recherchent des moyens de décarboner leurs activités. L'industrie aéronautique en fait partie, et les moteurs fonctionnant à l'hydrogène, parmi d'autres solutions, apparaissent comme une des clés pour réduire l'empreinte carbone des vols commerciaux. L'hydrogène est totalement décarboné, car il produit uniquement de la vapeur d'eau lorsqu'il est brûlé, et contient de surcroît le plus d'énergie par kilogramme de tous les combustibles, faisant de lui le combustible propre idéal au premier abord. Néanmoins, utiliser l'hydrogène comme combustible est un défi sur plusieurs plans. En plus d'être difficile à stocker, les propriétés de combustion de l'hydrogène sont uniques : il est extrêmement inflammable et brûle à des températures plus élevées que la plupart des autres combustibles. Ceci cause deux problématiques quand on le brûle dans un moteur : la sécurité, car l'hydrogène peut s'enflammer dans des zones où la combustion n'est pas désirable, et la pollution, car des flammes plus chaudes peuvent mener à la production d'oxides d'azote (NOx). Cette thèse se concentre sur cette seconde problématique en étudiant un nouveau mode d'injection sur des injecteurs coaxiaux swirlés. Ces injecteurs sont modulaires, permettant différents diamètres et des swirls variables.

Après avoir réalisé une étude paramétrique sur la stabilisation de flamme et les émissions de NOx pour des flammes d'hydrogène non-prémélangées sur notre injecteur, nous étudions l'effet de l'injection d'un mélange riche à la place de combustible pur sur la structure de flamme et les NOx. Après avoir observé que ce mode d'injection est capable de réduire le volume de flamme et les émissions, des lois d'échelles liant les caractéristiques de flamme et les NOx sont formulées, d'abord pour des flammes jet, puis pour des flammes swirlées, avec l'assistance de simulations aux grandes échelles. De plus, un inventaire des différentes structures de flamme produites par l'injection de mélange riche combinée à différent degrés de swirl et différentes combinaisons de diamètres d'injecteur est générée.

Pour aller plus loin, des mesures fines de flammes par fluorescence induite par laser d'OH synchronisées avec de la vélocimétrie par imagerie de particules stéréoscopique sont réalisées, afin d'observer l'effet du prémélange partiel sur la structure de flamme et les profils d'étirement. Ces diagnostics sont utilisés sur plusieurs flammes de structures et configurations diverses, nous renseignant sur les différentes interactions entre les structures d'écoulement induites par le swirl et la stabilisation de la flamme dans différentes zones, sur des flammes attachées ou détachées. Enfin, avec les informations récoltées, un nouvel injecteur composé de trois canaux swirlés pour réduire le volume de flamme est conçu. Il est ensuite étudié grâce à de la chimiluminescence OH* et de l'analyse de gaz. Cette première étude sur ce type d'injecteur valide finalement les directives de conceptions extraites du reste des recherches.

université PARIS-SACLAY

ÉCOLE DOCTORALE
Sciences mécaniques et énergétiques, matériaux et géosciences (SMEMAG)

Title : Analysis of stabilization, structure and emissions of hydrogen-air flames on a coaxial injector for aircraft propulsion

Keywords : Turbulent combustion, Nitrogen oxides, Hydrogen

Abstract : Due to the rising challenge of climate change, more and more industries are looking for ways to decarbonize their activities. The aeronautical industry is no different, and hydrogen-fueled engines, among others, appear as a solution to reduce the carbon footprint of commercial flights. Hydrogen is absolutely carbon-free, producing only water vapor when burned, and contains the most energy per kilogram of any fuel, making it the ideal clean fuel at first glance. However, using hydrogen as a fuel is a challenge in many ways. In addition to being difficult to store, the combustion properties of hydrogen are unique: it is extremely flammable and burns hotter than most other fuels. This, in turn, causes two main issues when burning it in an engine: safety, as hydrogen can ignite in zones where combustion is unwanted, and pollution, as hotter flames can lead to the production of nitrogen oxides (NOx). This work focuses on this second issue by studying a novel injection mode on swirled coaxial injectors. These injectors are very modular, allowing different diameters and variable swirls.

After conducting a parametric study on flame stabilization and NOx emissions for non-premixed hydrogen flames stabilized on our injector, we investigate the effects of injecting a rich mixture instead of pure fuel on flame structure and NOx. After observing that this different injection mode is capable of reducing flame volume and emissions, scaling laws relating flame characteristics and NOx are derived, first for jet flames and then for more complex swirled flames, using additional insight from Large Eddy Simulation. In addition, an inventory of the different flame structures produced with rich mixture injection with different degrees of swirl and different injector diameter combinations is generated. To go further, fine observations of flames using OH Planar Laser-Induced Fluorescence synchronized with Stereo Particle Image Velocimetry are made to give insight into how partial-premixing affects flame structure and strain profiles.

These diagnostics are employed over multiple flames with diverse structures and configurations, giving insight into the different interactions between swirl-induced flow structure and flame stabilization in the different flame zones, in both lifted and attached flames. With the knowledge gathered, a new injector, consisting of three swirled coaxial channels to reduce flame volume, is designed. It is then studied using chemiluminescence imaging and gas analysis. This first study on this type of injector validates the broad design cues extracted from the rest of the work.