



Avis de soutenance

Monsieur Nicolas VAYSSE

soutiendra publiquement ses travaux de thèse, intitulés

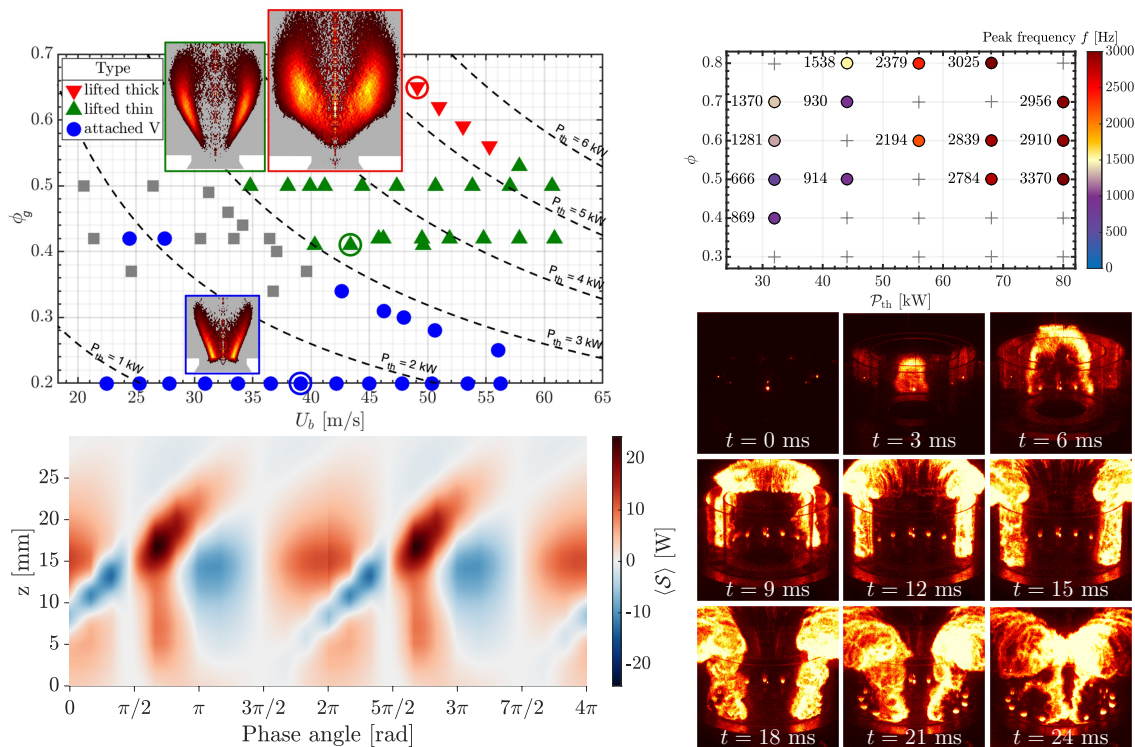
Stabilization and dynamics of hydrogen flames in single-sector and annular combustors

*Stabilisation et dynamique des flammes d'hydrogène
en configuration mono-injecteur et en chambre annulaire*
([lien](#))

Thèse dirigée par Ronan VICQUELIN et co-encadrée par Antoine RENAUD, Daniel DUROX et Sébastien CANDEL, au laboratoire EM2C (CNRS) de CentraleSupélec, Université Paris-Saclay

Le jeudi 4 décembre 2025 à 14h00

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



Composition du jury

Thierry SCHULLER	Professor, Université de Toulouse, IMFT, IUF	Rapporteur
James DAWSON	Professor, Norwegian University of Science and Technology	Rapporteur
Simone HOCHGREB	Professor, University of Cambridge	Examinatrice
Nicolas NOIRAY	Associate professor, ETH Zürich	Examineur
Yoann MÉRY	Principal Combustion Expert, Safran Aircraft Engines	Examineur

Titre : Stabilisation et dynamique des flammes d'hydrogène en configuration mono-injecteur et en chambre annulaire

Mots clés : Combustion d'hydrogène, Stabilisation de flammes, Instabilités thermo-acoustiques, Chambres de combustion annulaires, Allumage annulaire

Résumé : Cette thèse présente une étude expérimentale des flammes d'hydrogène pur swirlées pour des applications à la propulsion aéronautique et à la production d'énergie. Elle se concentre sur l'allumage des chambres de combustion annulaires alimentées à l'hydrogène, la stabilisation des flammes et les instabilités thermo-acoustiques dans des configurations mono-injecteur et annulaires. Un nouvel injecteur reposant sur l'injection en jet transverse d'hydrogène gazeux dans un écoulement d'air swirlé est caractérisé en termes de mélange du combustible et de l'air, de mécanismes de stabilisation de la flamme, d'émissions polluantes et de stabilité par rapport au couplage avec les fréquences propres acoustiques de la chambre de combustion. Un grand nombre de conditions de fonctionnement et de géométries sont explorées. Ce concept d'injection s'avère capable de fournir un niveau de mélange suffisant, et le nombre de swirl est identifié comme le principal paramètre contrôlant le processus de mélange. L'injecteur produit des flammes détachées des parties solides à puissance élevée, pour un nombre de swirl élevé et un faible retrait de l'injecteur. Ces flammes liftées se caractérisent par de faibles émissions de NO_x et un rendement de combustion élevé. Afin de réduire la vitesse de propagation des flammes et d'étendre l'opérabilité des flammes d'hydrogène, des décharges plasma sont appliquées pour stabiliser les flammes ultra-pauvres, tout en maintenant de faibles niveaux de NO_x . Les flammes swirlées d'hydrogène pur se révèlent très sensibles au couplage thermo-acoustique avec les modes longitudinaux dans les chambres de combustion mono-injecteur dans la gamme de fréquences 650-1100 Hz, et au couplage avec les modes azimutaux en chambre annulaire entre 600 et 3500 Hz. Ce dernier couplage implique des modes d'ordre élevé qui n'ont jamais été signalés auparavant. L'augmentation du nombre de swirl réduit les instabilités dans les deux configurations. La dynamique d'allumage annulaire des flammes d'hydrogène est examinée dans une chambre annulaire initialement remplie de prémélange. Les temps d'allumage annulaire sont beaucoup plus courts qu'avec les hydrocarbures et diminuent lorsque la richesse, la vitesse d'injection ou le nombre de swirl augmentent.

Un modèle capable de prédire les temps d'allumage et l'amplitude du pic de pression induit par l'allumage a été développé pour une large gamme de paramètres. Cette thèse met en évidence les conséquences de la réactivité élevée des flammes d'hydrogène, telles que leur vitesse de propagation annulaire élevée ou leur grande sensibilité aux instabilités thermo-acoustiques, et fournit des méthodologies pour analyser ce couplage.

Title : Stabilization and dynamics of hydrogen flames in single-sector and annular combustors

Keywords : Hydrogen combustion, Flame stabilization, Thermo-acoustic instabilities, Annular combustors, Light-round ignition

Résumé : This thesis presents an experimental investigation of pure hydrogen swirling flames for aeronautic propulsion and energy applications. It is focused on the light-round ignition of hydrogen-fueled annular combustors, flame stabilization, and on thermo-acoustic instabilities in single-sector and annular configurations. A novel injector relying on jet-in-crossflow injection of gaseous hydrogen in a swirling air stream is characterized in terms of fuel and air mixing, flame stabilization mechanisms, pollutant emissions, and stability regarding the coupling with the combustor acoustic eigenfrequencies. A large number of operating conditions and geometries are explored. This injection concept is found to be capable of providing a sufficient level of mixing, and the swirl number is identified as the main parameter controlling the mixing process. The injector produces flames that are detached from solid boundaries in the high power range, at higher swirl and low injector recess. These lifted flames are characterized by low NO_x emissions and a high combustion efficiency. To reduce flame burning velocity and extend the operability of hydrogen flames, plasma discharges are applied to stabilize ultra-lean flames, while maintaining low NO_x levels. Pure hydrogen swirling flames are shown to be highly sensitive to thermo-acoustic coupling with longitudinal modes in single-injector combustors in the frequency range 650-1100 Hz, and to the coupling with azimuthal modes in annular combustors between 600 and 3500 Hz. The latter coupling involves high-order modes that have never been reported previously. Increasing the swirl number reduces the instabilities in both configurations. The light-round ignition dynamics of hydrogen flames are examined in the case where the annular chamber is initially filled with premixture. The light-round ignition delays are shown to be much shorter than with hydrocarbons, and to decrease when either the equivalence ratio, the injection velocity, or the swirl number is augmented. A model is developed that is able to predict the light-round delays and the amplitude of the pressure excursion induced by the ignition, for a wide range of parameters.

This thesis highlights the consequences of hydrogen flames' high reactivity, such as their high light-round propagation velocity or their high sensitivity to thermo-acoustic instabilities, and provides methodologies to analyze this coupling.