

Avis de soutenance

Monsieur Jean-Baptiste PERRIN-TERRIN

soutiendra publiquement ses travaux de thèse, intitulés* :

Plasma-assisted combustion in low emissions burners: from hydrocarbons to hydrogen.

Combustion assistée par plasma dans les foyers à faibles émissions : des hydrocarbures à l'hydrogène.

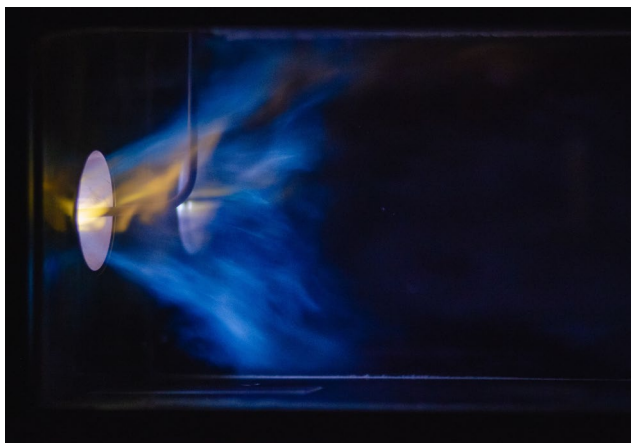
le **jeudi 25 juin 2026** à 14h30 au **Théâtre Rousseau**,
à CentraleSupélec, bâtiment Bouygues
3 rue Joliot Curie, 91190 Gif-sur-Yvette

Thèse dirigée par **Christophe LAUX**, co-dirigée par **Sébastien DUCRUIX**
et co-encadrée par **Philippe SCOUFLAIRE**
menée au laboratoire EM2C (CentraleSupélec, CNRS, Université Paris-Saclay)

Retransmission via le lien suivant :

[Lien vers Soutenance thèse Perrin-Terrin - Microsoft Teams](#)

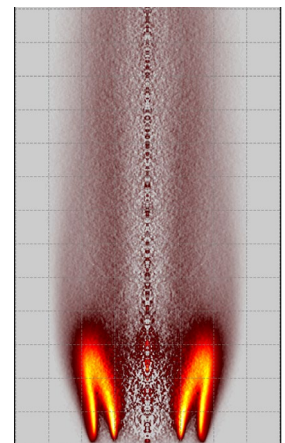
Photograph of a plasma-assisted V-flame in the BIMER-PAC burner. Credits: Hugo Veran



Photograph of elongated spark discharges in the BIMER-PAC burner



Stoichiometric M-flame in H₂/air premixed burner, mini-PAC-H₂. Abel inverted OH* image.



Composition du jury

Carmen GUERRA-GARCIA Associate Professor, MIT
Joseph LEFKOWITZ Associate Professor, Technion
Benoît FIORINA Professeur, CentraleSupélec
Svetlana STARIKOVSKAIA Directrice de recherche, CNRS
Deanna LACOSTE Associate Professor, KAUST
Guillaume PILLA Ingénieur de recherche, ONERA
Bénédicte CUENOT Ingénieure, Safran Aircraft Engines

Rapporteur & Examinatrice
Rapporteur & Examinateur
Examinateur
Examinatrice
Invitée
Invité
Invitée

* sous réserve de validation des rapporteurs.

Titre : Combustion assistée par plasma dans des foyers à faibles émissions : des hydrocarbures à l'hydrogène

Mots clés : Combustion assistée par plasma, hydrogène, combustion décarbonée, écoulement tourbillonnant, diagnostics optiques, décharges nanosecondes.

Résumé : Les progrès en efficacité thermique des moteurs aéronautiques se heurtent aujourd'hui à des niveaux élevés d'émissions de NO_x, nocifs pour l'environnement et la santé humaine. Une stratégie pour résoudre ce problème consiste à opérer les chambres de combustion en régime pauvre prémélangé (LPM), où le carburant est brûlé en excès d'air. Ces régimes sont cependant instables. Concilier haute efficacité thermique, faibles émissions de NO_x et sécurité nécessite de nouvelles solutions pour stabiliser la combustion LPM. La combustion assistée par plasma (PAC) est une technique prometteuse, mais sa maturité en tant que technologie industrielle reste à consolider.

Cette thèse aborde deux défis majeurs pour le déploiement de la PAC : d'une part, approfondir la compréhension des effets du plasma dans les écoulements swirlés, caractéristiques des chambres de combustion LPM ; d'autre part, démontrer l'efficacité de la PAC pour les flammes d'hydrogène, clé pour la combustion décarbonée.

La première partie présente une étude expérimentale menée dans BIMER-PAC, une chambre de combustion étagée swirlée représentative d'un injecteur aéronautique. Les décharges nanosecondes répétitives pulsées (NRP) permettent d'étendre la limite d'extinction pauvre de 50 %. Une étude paramétrique révèle que maintenir le claquage est nécessaire pour obtenir de tel effet. Le claquage est favorisé par des tensions plus élevées, des distances inter-électrodes plus courtes ou des fréquences de répétition plus grandes.

Pour comprendre ce résultat, des mesures synchronisées à haute cadence de la flamme et des décharges sont réalisées. Ces mesures révèlent qu'à mesure que le mélange s'appauvrit, les décharges NRP forment des **cycles d'élongation** : il s'agit de trains périodiques de pulses claquant le canal chaud et ionisé formée par pulse précédent puis transporté par l'écoulement.

A l'issue d'un cycle d'élongation, l'effet cumulatif entre pulses forme un noyau de combustion, qui est transporté par l'écoulement, assurant ainsi le maintien de la flamme. Ce résultat démontre l'importance du déplacement des sparks dans les écoulements swirlés.

La spectroscopie d'émission réalisée sur les sparks tournant révèle que le plasma est dans le régime de spark non thermique, avec un chauffage modéré du gaz (< 1500 K) et une faible ionisation (< 1 %). Ces résultats assurent la validité des modèles phénoménologiques pour les futures simulations 3D de BIMER-PAC.

Finalement, une étude paramétrique du positionnement de l'électrode conclut que la stratégie optimale est de former le plasma dans l'injection principale, conclusion qui orientera directement la conception des injecteurs PAC.

La seconde partie est consacrée à la PAC d'hydrogène. Elle présente la toute première démonstration expérimentale d'extension de limite d'extinction par décharges NRP d'une flamme H₂/air. Cette étude est conduite sur SICCA-H₂, un brûleur swirlé partiellement prémélangé à pression atmosphérique. En appliquant le plasma avec un rapport cyclique faible, il est possible de contenir la pénalité de NO_x en deçà des seuils réglementaires, tout en obtenant une extension de 20 % de la limite d'extinction. La spectroscopie confirme par ailleurs le régime d'étincelle non thermique.

Fort de ces résultats, un nouveau brûleur prémélangé H₂/air, Mini-PAC H₂, a été conçu pour étudier les interactions plasma/flamme. Les régimes de combustion avec et sans plasma y sont caractérisés. La spectroscopie indique que le plasma est aussi en régime spark non thermique. L'ensemble de ces résultats démontre l'intérêt de la PAC pour les flammes H₂/air et fournit des données de validation pour les simulations numériques.

Title : Plasma-assisted combustion in low-emission burners: from hydrocarbons to hydrogen.

Keywords : Plasma-assisted combustion; hydrogen; carbon-free combustion; swirling flows; optical diagnostics; nanosecond discharges.

Abstract: Progress in the thermal efficiency of aeroengines is currently hindered by high levels of NO_x emissions, which are harmful to the environment and human health. A strategy to overcome this challenge is to operate combustors in the lean premixed (LPM) regime, where fuel is burned with excess of air. However, LPM combustors are prone to instabilities. Developing engines that simultaneously achieve high thermal efficiency, low NO_x emissions and safe operation therefore requires innovative strategies to stabilize LPM combustion. Plasma-assisted combustion (PAC) has emerged as a promising solution to address this challenge, but its maturity as a practical combustion technology still needs to be advanced.

This thesis addresses two major challenges for the deployment of PAC: first, improving the understanding of plasma effects in swirling flows, which are key for aeroengine combustor operation; and second, demonstrating the effectiveness of PAC for lean H₂/air flames, essential for decarbonized combustion.

The first part of this manuscript presents an experimental study in BIMER PAC, a swirled staged combustor representative of an aeronautical injector, operated with CH₄ at atmospheric pressure. Using nanosecond repetitively pulsed (NRP) discharges, the lean-blow out (LBO) limit is extended by ~50%. A parametric study shows that maintaining gas breakdown is key to achieve large LBO extensions. Breakdown is favored by either higher applied voltages, shorter inter-electrode gap distances, or higher pulse repetition frequencies.

To explain the mechanisms of LBO extension, high speed, synchronized measurements of the flame and pulse dynamics are performed. As the flame becomes leaner, the NRP discharges start following elongation cycles, i.e. periodic patterns consisting of pulse sequences that trigger gas breakdown in the flow-convected channel of hot and ionized products produced by the previous pulse. Thanks to the cumulative effect between pulses, each elongation cycle generates a combustion kernel transported by the flow, thus sustaining combustion.

This finding highlights the critical role of spark motion in swirled flows. The experimental dataset produced in this work will serve to validate future models of spark elongation in PAC.

To characterize the NRP discharges, optical emission spectroscopy (OES) is performed on the rotating sparks. The plasma is shown to be in the non-thermal spark regime, with moderate gas heating (<1500 K) and a low ionization degree (<1%). These findings provide insights for future 3D simulations of BIMER PAC, showing in particular that the thermochemical effects of NRP discharges can be simulated with phenomenological models.

Finally, a parametric study of electrode positioning is conducted to maximize the effect of the plasma across all fuel staging ratios. The results show that the best strategy consists in placing the plasma in the main injection flow. This conclusion will directly inform the design of PAC injectors.

The second part of this manuscript focuses on hydrogen PAC. We begin by presenting the first experimental demonstration of LBO extension in a pure H₂/air flame with NRP discharges. This study is conducted on SICCA H₂, a swirl stabilized, partially premixed H₂/air burner operating at atmospheric pressure. By applying the plasma in duty cycle mode, we show that the NO_x penalty can be minimized below regulatory levels, while still achieving a 20% LBO limit extension. In addition, OES shows that the NRP discharges are in the non-thermal spark regime.

Building on these positive results, we designed a new premixed H₂/air burner, Mini-PAC H₂, to study plasma/flame interactions. The combustion regimes with and without plasma are characterized and preliminary studies of pollutant emissions are conducted. OES indicates that the non-thermal spark regime is also reached in Mini-PAC H₂. These results demonstrate the relevance of PAC for H₂-air flames and provide validation data for simulations.