



Avis de soutenance

Monsieur Victorien Blanchard

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Thermochemical Effects of Nanosecond Plasma Discharges on Lean Flame Stabilization

*Effets thermochimiques des décharges plasma nanosecondes
sur la stabilisation de flammes pauvres*

Thèse dirigée par **Christophe Laux** et **Sébastien Ducruix**,
et co-encadrée par **Philippe Scouflaire**

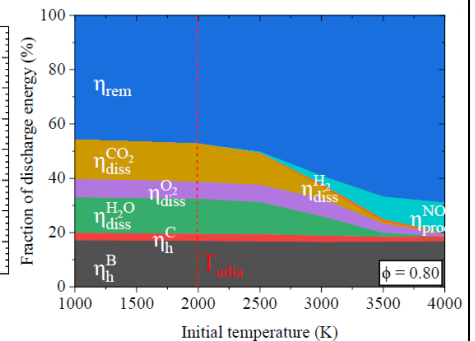
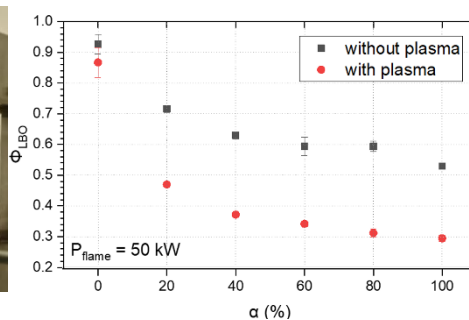
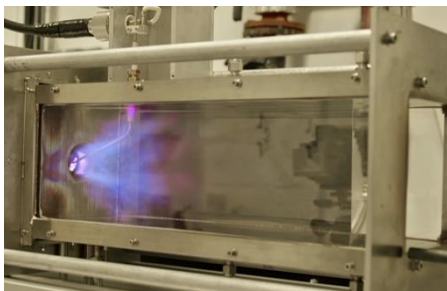
Le **vendredi 20 octobre 2023** à **14h00** en **Amphithéâtre I**

À CentraleSupélec, bâtiment Eiffel
3, rue Joliot-Curie 91190 Gif-sur-Yvette

Retransmission via le lien suivant :

[https://teams.microsoft.com/l/meetup-](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_MzhiNWjIMGEtMDM1NS00MDNlThiYzgtNmRkYzZjNWNjNmEz%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%2261f3e3b8-9b52-433a-a4eb-c67334ce54d5%22%2c%22Oid%22%3a%2285684cc4-d1e5-4784-bef0-108a540bdb2d%22%7d)

[join/19%3ameeting_MzhiNWjIMGEtMDM1NS00MDNlThiYzgtNmRkYzZjNWNjNmEz%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%2261f3e3b8-9b52-433a-a4eb-c67334ce54d5%22%2c%22Oid%22%3a%2285684cc4-d1e5-4784-bef0-108a540bdb2d%22%7d](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_MzhiNWjIMGEtMDM1NS00MDNlThiYzgtNmRkYzZjNWNjNmEz%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%2261f3e3b8-9b52-433a-a4eb-c67334ce54d5%22%2c%22Oid%22%3a%2285684cc4-d1e5-4784-bef0-108a540bdb2d%22%7d)



Plasma-assisted flame in a gas turbine model combustor (left), lean blow-off extension with plasma (middle), and analytical model predictions of radicals and heat produced by nanosecond discharges (right).

Composition du jury

| | | |
|-------------------------------|--|--------------|
| Sander NIJDAM | Associate Professor, Eindhoven University of Technology | Rapporteur |
| Timothy OMBRELLO | Senior Research Aerospace Engineer, US Air Force Research Laboratory | Rapporteur |
| Armelle CESSOU | Directrice de Recherche, CORIA, CNRS, Université de Rouen Normandie | Examinatrice |
| Carmen GUERRA-GARCIA | Assistant Professor, Massachusetts Institute of Technology | Examinatrice |
| Epaminondas MASTORAKOS | Professor, University of Cambridge | Examineur |
| Nicolas NOIRAY | Associate Professor, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich | Examineur |
| Yoann MERY | Technical Lead & Manager, Combustion design team, Safran Aircraft Engine | Invité |

Titre : Effets thermochimiques des décharges plasma nanosecondes sur la stabilisation de flammes pauvres

Mots clés : combustion assistée par plasma, décharges nanosecondes, émissions de NO_x, flame pauvre, turbine à gaz, moteur aéronautique

Résumé : La combustion de carburants fossiles, neutres ou sans carbone produit des oxydes d'azote (NO_x) néfastes pour la santé humaine et les écosystèmes. Les flammes prémélangées pauvres ont une température plus basse, limitant ainsi la formation de NO mais elles sont instables et sujettes à l'extinction. La combustion assistée par plasma avec des décharges Nanosecondes Répétitives Pulsées (NRP) a surtout été étudiée dans des brûleurs académiques de faible puissance dont les émissions de NO_x sont toujours plus élevées avec plasma que sans.

Dans cette thèse, la limite d'extinction pauvre est étendue avec des décharges NRP pour des flammes jusqu'à 100 kW et une puissance plasma de 0.06% celle de la flamme. L'étude est menée dans une chambre de combustion équipée d'un injecteur aéronautique alimenté par du méthane et de l'air à pression atmosphérique. Dans 75% des cas étudiés, les flammes les plus pauvres stables avec plasma émettent moins de NO_x que les flammes les plus pauvres stables sans plasma.

Ensuite, dans un brûleur à accroche-flamme le développement de la flamme et la température sont caractérisés lors du régime transitoire et stationnaire résultant de l'application de décharges NRP. Ces mesures sont utilisées pour valider une simulation aux grandes échelles réalisée avec le modèle phénoménologique de Castela *et al.* qui décrit les effets des décharges NRP avec un faible coût CPU. Des calculs dans des flammes méthane-air montrent que la température du gaz doit rester inférieure à 2500 K pour limiter la formation de NO durant la décharge.

Finalement, pour étendre le domaine de validité du modèle de Castela *et al.*, un modèle analytique est développé qui fonctionne dans les mélanges où N₂ est majoritaire et il prédit l'évolution de la température ainsi que de N₂, O₂, H₂O, CO₂, O, CO, H₂, N, H, OH, NO, NH₂, CH₃, NH₃ et CH₄. Le modèle est versatile avec un faible coût CPU.

Title: Thermochemical Effects of Nanosecond Plasma Discharges on Lean Flame Stabilization

Keywords: Plasma-assisted combustion, nanosecond discharges, NO_x emissions, lean flame, gas turbine, aircraft engine

Abstract: Combustion of fossil, carbon-neutral, or carbon-free fuels emits nitrogen oxides (NO_x) posing significant risks to human health and ecosystems. Lean-premixed flames have a lower flame temperature allowing mitigation of NO formation, but these flames are unstable and prone to extinction. Plasma-assisted combustion studies with Nanosecond Repetitively Pulsed (NRP) discharges have mostly been conducted in low power academic burners with NO_x emissions consistently higher with plasma than without.

In this thesis, the lean flammability limit is extended with NRP discharges up to 100 kW and the plasma-to-flame power ratio is reduced down to 0.06% in a gas turbine model combustor equipped with an aeronautical injector operating with methane-air at atmospheric pressure. In most cases investigated, the leanest flames stable with plasma emit less NO_x than the leanest flames stable without.

Then, we characterize the flame development and the gas temperature in a bluff-body burner during the transient and steady application of NRP discharges. These results are used to validate a Large Eddy Simulation using the low-CPU cost phenomenological model of Castela *et al.* describing NRP discharges effects.

Finally, to extend the validity of the model of Castela *et al.*, a new model is developed. It works in any N₂-dominated mixtures and predicts the evolution of heat release and N₂, O₂, H₂O, CO₂, O, CO, H₂, N, H, OH, NO, NH₂, CH₃, NH₃, and CH₄. It is versatile and computationally affordable thanks to its analytical formulation. Applying the model, we show that the gas temperature in the discharge region must remain under 2500 K to prevent NO formation by the discharge.