

## Invitation à la soutenance de thèse

### Etude des instabilités de combustion, mouvements de flamme et flashbacks dans un foyer comprenant un élargissement brusque

**Jean-Michel Klein**

**25 juin 2024, 14h00**

Salle Marcel Pierre, ONERA, Centre de Palaiseau  
6 chemin de la Vauve aux Granges, 91120 Palaiseau

<https://rdv.onera.fr/SoutenanceJMKlein> (distanciel)

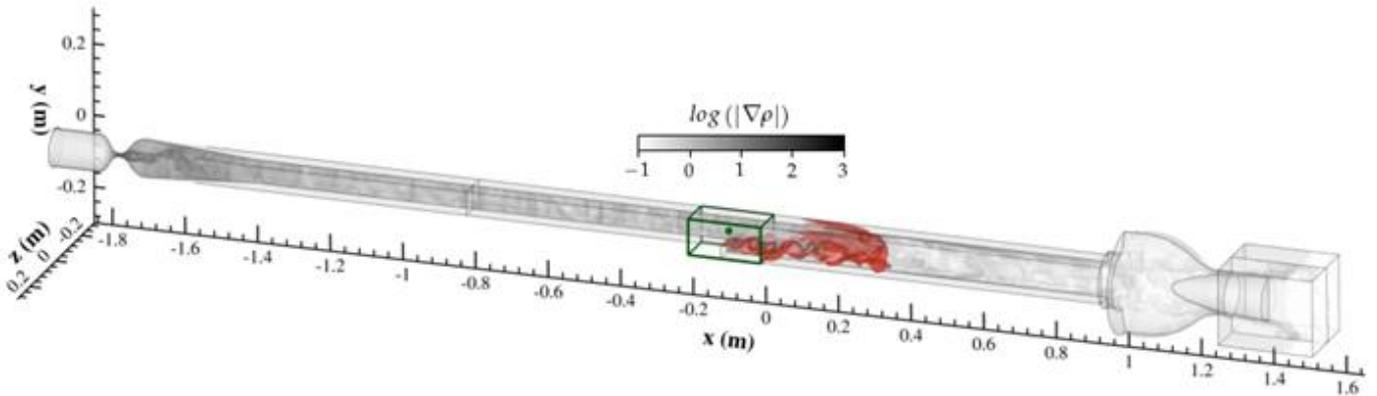
#### Devant le jury composé de :

Pierre BOIVIN	Chargé de recherche CNRS - M2P2, Aix-Marseille université	Rapporteur
Franck RICHECOEUR	Professeur - EM2C - CentraleSupélec, Gif-sur Yvettes	Rapporteur
Françoise BAILLOT	Professeur - Université de Rouen	Examinatrice
Alexis GIAUQUE	Maître de conférences - LMFA - Ecole Centrale Lyon	Examinateur
Frédéric PLOURDE	Directeur de recherche - CNRS - Pprime, Poitiers	Examinateur
Arnaud MURA	Directeur de recherche - CNRS - Pprime, Poitiers	Directeur de thèse
Aurélien GENOT	Chargé de recherche, ONERA, Toulouse	Encadrant
Axel VINCENT-RANDONNIER	Ingénieur de recherche, ONERA, Toulouse	Encadrant

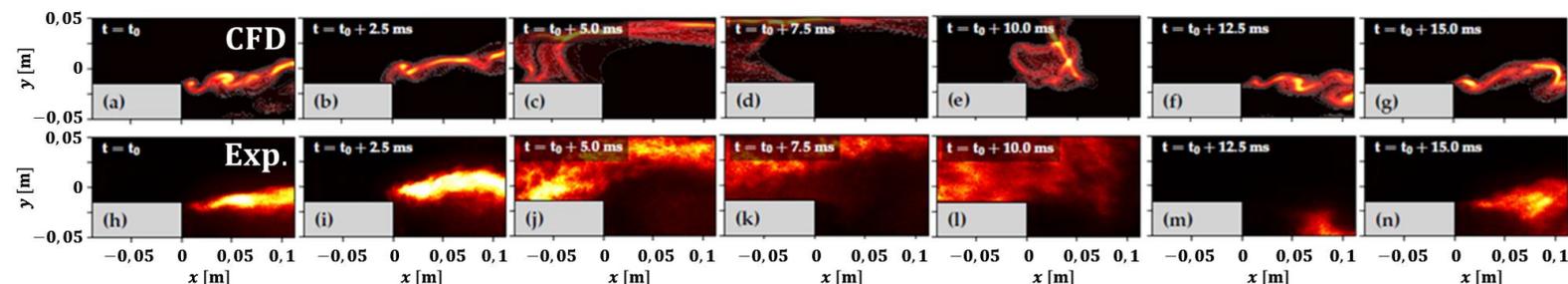
#### Résumé

La conception des futurs statoréacteurs bénéficierait d'une meilleure compréhension des instabilités de combustion apparaissant dans les écoulements rapides présentant des recirculations : une problématique étudiée à l'ONERA avec le banc MICAEDI au Laboratoire des Ecoulements Réactifs et de leurs Techniques d'Etude (LAERTE) de l'ONERA. Dans ce dispositif, une flamme de prémélange méthane-air s'établit au voisinage d'une marche descendante, dans un environnement présentant des similitudes avec les foyers de statoréacteurs. Pour certains points de fonctionnement, d'importantes oscillations de pression accompagnées de remontées de flammes (flashbacks) périodiques y apparaissent sous l'effet de l'excitation de modes acoustiques longitudinaux. Dans le cadre cette thèse, le code de calcul CEDRE est utilisé afin de restituer ces instabilités, les analyser et en améliorer la compréhension. Pour cela, une méthodologie de post-traitement basée sur les bilans d'énergie des perturbations (BEP) a été appliquée tout d'abord dans le cas d'une flamme de prémélange unidimensionnelle forcée acoustiquement. Grâce à ce formalisme, la dynamique de cette flamme peut alors être décrite au travers d'une loi d'échelle au moyen de deux nombres adimensionnels : (i) un nombre de Strouhal associé aux mouvements de la flamme qui compare son amplitude de battement à l'épaisseur de flamme laminaire et (ii) l'amplitude de la perturbation en vitesse adimensionnée par la vitesse de propagation de flamme laminaire. Sont ensuite réalisées des simulations numériques aux grandes échelles de flammes s'établissant au voisinage d'une marche descendante. En deux dimensions (2D), une telle approche permet de restituer, à moindre coût de calcul, une dynamique de combustion similaire à celle observée sur le banc MICAEDI. Une étude de sensibilité conduite sur les principaux paramètres opératoires met en évidence les processus associés au développement d'instabilités de combustion et à l'apparition de flashbacks. Il apparaît que la rétroaction entre des modes acoustiques longitudinaux et les oscillations du front de flamme sont favorisées si la symétrie des plissements de la flamme est rompue par l'action de la bulle de recirculation s'établissant au pied de la marche descendante. Ce mécanisme est favorisé si le mode acoustique présente un nœud de vitesse au niveau de la marche.

descendante et si sa fréquence est basse et/ou proche de la fréquence caractéristique de l'instabilité de Kelvin-Helmholtz. Des oscillations peuvent également apparaître à de plus basses fréquences lors du battement du point de raccordement de la flamme à la paroi supérieure. Ces oscillations peuvent provoquer des flashbacks suivant deux mécanismes : (i) synchronisation entre les oscillations des modes acoustiques et les détachements périodiques de la bulle de recirculation s'élevant au-dessus de la marche, bloquant la flamme et la faisant temporairement remonter en amont, avant d'être convectée plus en aval et (ii) action de la flamme qui, lors de sa propagation dans la couche limite à de basses fréquences, y cause son décollement et favorise ainsi l'apparition de nouveaux flashbacks à de plus hautes fréquences. Si les détachements de la bulle provoquent des flashbacks pour des niveaux importants d'oscillations de vitesse (la direction de l'écoulement est proche de s'inverser, voire s'inverse périodiquement), les remontées de flamme par la couche limite sont susceptibles d'apparaître pour des niveaux d'oscillation plus modérés. Pour les simulations en trois dimensions (3D), l'utilisation d'une géométrie représentative du foyer MICAEDI (**Figure 1**) permet une restitution fine des instabilités observées. En effet, le cycle limite obtenu numériquement présente de nombreuses similitudes avec les données expérimentales (**Figure 2**). Les principaux mécanismes analysés sur les simulations 2D sont également retrouvés sur ce cas 3D assurant une modélisation plus fidèle de la turbulence et de l'acoustique, validant ainsi l'ensemble de l'approche suivie dans cette étude.



**Figure 1 :** Schéma du domaine de calcul utilisé pour les simulations numériques de la combustion au sein du foyer MICAEDI. Le gradient de densité (niveaux de gris) est représenté de pair avec la flamme (iso-valeur 0,7 de la variable de progrès basée sur les réactifs frais, en rouge). La boîte verte correspond à la fenêtre de visualisation présentée sur la **Figure 2**.



**Figure 2 :** Comparaisons à temps synchronisé entre (a-g) le taux de dégagement de chaleur relevé sur la **simulation numérique** et (h-n) les **relevés expérimentaux** de chimiluminescence du radical  $OH^*$ .

### Mots clés

Bilans d'énergies des perturbations - Instabilités thermoacoustiques - Remontées de flamme - Simulations numériques aux grandes échelles - Combustion turbulente