

Combustion hydrogène appliquée à la propulsion aéronautique : caractérisation expérimentale et analyse des interactions flamme-paroi

Contexte & objectifs

En raison des émissions accrues de CO₂ (150% du niveau pré-industriel), et de leurs conséquences pour la communauté humaine et les écosystèmes, les politiques internationales ont récemment entrepris une démarche de réduction des émissions, comme en 2015 lors des Accords de Paris. A cet effet, le secteur aéronautique qui représente 2.1 % des émissions de CO₂ vise la neutralité carbone d'ici 2050, et prend ainsi une part active vis-à-vis de ce défi sociétal. Parmi les solutions envisagées, l'utilisation directe de l'hydrogène dans les turbomachines aéronautiques est sérieusement envisagée, en vertu de son effet direct sur la réduction de l'impact climatique du transport aérien : -50 à -75% par rapport aux technologies actuelles [1].

En tant que combustible, l'hydrogène présente un comportement singulier car sa densité énergétique (120 MJ/kg) ou encore sa réactivité sont nettement supérieures aux hydrocarbures conventionnels (kérosène). De ce fait, les turbomachines actuelles, conçues pour la combustion de kérosène, ne sont pas adaptées aux conditions rencontrées lors de la combustion de l'hydrogène : forts gradients thermiques, haute teneur en vapeur d'eau, diffusivité élevée dans les métaux... En particulier, le travail proposé dans cette thèse vise à caractériser finement le comportement d'écoulements réactifs hydrogène/air lors de leurs interactions avec les parois de chambres de combustion canoniques, interactions susceptibles de générer des pertes thermiques pariétales significatives ainsi que d'éventuels imbrûlés.

Interactions flamme-paroi canoniques

Dans un premier temps, les propriétés de flammes de prémélange hydrogène/air seront étudiées dans une enceinte optique (cf. figure 1) lors de leur extinction au voisinage d'une paroi (coincement). La distance de coincement et le flux thermique pariétal seront mesurés en écoulement laminaire monodimensionnel, par diagnostics physiques et optiques, de façon à résoudre la dynamique de ce phénomène transitoire dans des conditions parfaitement contrôlées [2]. Le comportement d'une flamme de prémélange hydrogène-air turbulente sera aussi caractérisé par vélocimétrie, afin de connaître les propriétés de l'écoulement réactif turbulent et son influence sur le régime d'interaction. L'analyse de ces données donnera lieu à une base de connaissance de référence indispensable pour connaître les paramètres caractéristiques de l'interaction flamme-paroi, tester les modèles de pertes thermiques actuels (lois de paroi), et alimenter d'éventuelles simulations numériques ultérieures.

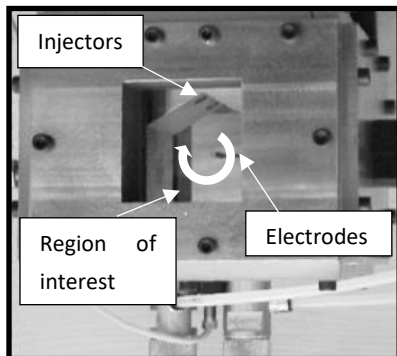


Figure 1: Enceinte TUMBLE pour l'étude du coincement de flamme

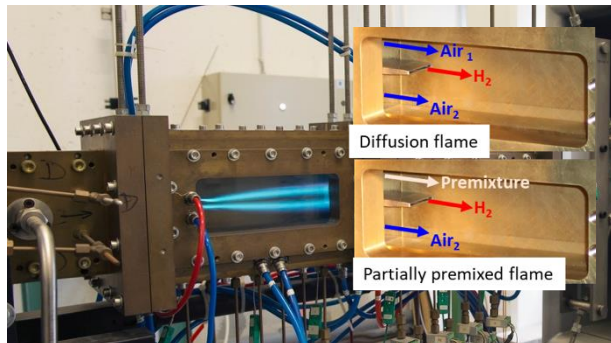


Figure 2: Ecoulement réactif turbulent du banc CHV

Interactions flamme-paroi représentatives

Dans un second temps, l'interaction flamme-paroi sera mise en œuvre au sein d'un écoulement turbulent plus réaliste, généré dans une veine optique aérobie munie d'un jet d'hydrogène bidimensionnel (cf. figure 2). L'écoulement ainsi créé permettra une caractérisation du comportement instantané du mélange [3] et de l'interaction flamme-paroi en régime de flamme de diffusion ou de prémélange partiel, par fluxmétrie, vélocimétrie et fluorescence induite par laser. La mesure des émissions de NOx par fluorescence sera mise en œuvre et corrélée à ces conditions expérimentales. Cette configuration, orientée vers l'application industrielle, représente bien les différents régimes mis en jeu dans une chambre de combustion aéronautique, ainsi que leurs effets sur les différents régimes d'interaction flamme-paroi rencontrés.

Cette thèse s'inscrit dans le cadre plus vaste du projet scientifique ANR "OASIS" qui adresse les aspects aéro-thermo-chimiques de la combustion hydrogène en proche paroi. Ce projet fournit un cadre stimulant associant des doctorants et des enseignants-chercheurs de deux laboratoires utilisant des approches couplées d'analyse expérimentale et numérique. Il contribuera à la compréhension des phénomènes pariétaux incontournables pour atteindre l'objectif d'une propulsion aéronautique décarbonée.

Profil: Diplôme d'ingénieur ou Master 2 en énergétique, mécanique des fluides, propulsion.

Début: Septembre 2024

Contact: julien.sotton@ensma.fr, bastien.boust@ensma.fr

Références

[1] Hydrogen-powered aviation-a fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050', Cleansky2 & Fuel Cells and hydrogen joint undertakings, 2020.

[2] B. Boust et al., "A thermal formulation for single-wall quenching of transient laminar flames," Combust. Flame, vol. 149(3), p. 286–294, 2007 (<https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2006.12.019>).

[3] Theron M., Bellenoue M., Experimental investigation of the effects of heat release on mixing processes and flow structure in a high-speed subsonic turbulent H2 jet, 2006, Combust. Flame 145.