

Offre de stage de fin d'étude

Titre du stage :

Modélisation des conditions limites acoustiques dans les simulations haute-fidélité des moteurs H2/Air.

Contexte :

L'hydrogène (H₂) sert de vecteur énergétique permettant la transition vers une société durable. Il peut être généré par électrolyse alimentée par de l'électricité durable et ainsi être utilisé pour stocker de l'énergie sous forme chimique. Une façon de récupérer cette énergie est de brûler l'H₂ dans un moteur thermique conventionnel. Ce processus de combustion n'émet aucun CO₂.

Lors de la conception de dispositifs de combustion, l'un des principaux défis est de prédire et de réduire les **instabilités thermoacoustiques**, également connues sous le nom d'instabilités de combustion. En bref, la boucle de rétroaction thermoacoustique se déroule comme suit. Les flammes instables dégagent de la chaleur à un taux variable dans le temps. Cette fluctuation génère des ondes acoustiques qui se propagent à l'intérieur du moteur. Comme toutes les géométries confinées, le moteur possède des modes acoustiques résonnants, ce qui conduit à l'amplification de longueurs d'onde spécifiques. Les ondes acoustiques sont réfléchies sur des limites acoustiques physiques (parois, entrées, sorties ou autres éléments du moteur) et perturbent ensuite l'écoulement, entraînant des fluctuations dans le taux de dégagement de chaleur. Lorsque ces fluctuations deviennent cohérentes avec les modes acoustiques résonnants, la rétroaction thermoacoustique constructive amplifie ces ondes acoustiques spécifiques, **entraînant des fluctuations de pression acoustique et de vitesse à haute amplitude**.

Lorsque des instabilités thermoacoustiques apparaissent, dans les meilleurs cas, elles conduisent à un fonctionnement extrêmement bruyant du moteur, pouvant endommager l'ouïe de l'opérateur. Dans d'autres cas, elles entraînent une défaillance du moteur (extinction de la flamme, retour de flamme, ...) voire même des défaillances catastrophiques, **détruisant ainsi l'ensemble du moteur en quelques millisecondes**.

Étant donné que l'H₂ est un carburant exceptionnellement puissant par rapport aux carburants hydrocarbonés traditionnels (la combustion de 1 kg d'H₂ libère 120 MJ tandis qu'un kg de gaz naturel n'en libère que 50 MJ), il est particulièrement sujet aux instabilités thermoacoustiques.

Les simulations haute-fidélité, notamment la Simulation aux Grandes Échelles (LES) et la Simulation Numérique Directe (DNS), sont des outils puissants couramment utilisés dans l'industrie et la recherche pour aider à la conception et à la compréhension de chambres de combustion stables H₂/Air.

Par conséquent, il est nécessaire que les modèles LES prédisent correctement les instabilités thermoacoustiques. En raison des propriétés spécifiques de ce carburant, la modélisation de la combustion de l'H₂ en elle-même est un défi. De plus, pour une prédiction précise des instabilités thermoacoustiques, il est impératif d'anticiper les **modes acoustiques réels du moteur** qui dépendent de la nature des **limites acoustiques physiques**.

Par conséquent, une attention particulière doit être accordée à la modélisation des conditions limites acoustiques en LES/DNS. Dans ce contexte, la méthode "Navier-Stokes Characteristic Boundary Condition" (NSCBC), très utilisée, sera étudiée et modifiée afin d'**améliorer la prédiction des instabilités thermoacoustiques dans de véritables moteurs H₂/Air**.

Projet de recherche :

Ce stage fait parti du projet SELECT-H (Safe and reliable Combustion Technologies powered by Hydrogen), subventionné par l'European Research Council.

Une position de doctorat est prévue pour octobre 2024, offrant ainsi la possibilité de poursuivre ce travail pour les candidats hautement motivés.

Programme de travail :

Le stage comprendra les étapes suivantes :

- Réaliser une revue de la littérature sur le traitement acoustique dans les simulations haute-fidélité.
- Co-implémenter les méthodes dans le solveur haute-fidélité CERFACS pour les équations de Navier-Stokes réactives (AVBP).
- Valider la méthode initialement sur des cas canoniques avant de simuler un véritable moteur H2/Air.

Contacts :

Q. Douasbin (quentin.douasbin@cerfacs.fr)

L. Gicquel (laurent.gicquel@cerfacs.fr)

T. Poinsot (thierry.poinsot@cerfacs.fr)