

Simulation haute performance des instabilités de combustion haute fréquence dans les chambres de combustion de moteurs-fusées cryotechniques

laboratoire EM2C, CNRS & CentraleSupélec

Introduction

La dynamique de la combustion constitue un problème clé dans beaucoup de développements en propulsion. Pour les moteurs-fusées à ergols liquides, des instabilités peuvent se manifester au cours des développements de nouvelles configurations de chambres de combustion. Les oscillations observées résultent de l'interaction complexe entre les modes acoustiques et plus particulièrement les modes transverses et les processus physiques conduisant au dégagement de chaleur. Lorsque le couplage est résonant, il peut engendrer des niveaux d'oscillation pouvant atteindre 20 à 30% de la pression moyenne régnant dans la chambre, induisant des sollicitations mécaniques et thermiques excessives de la chambre et des organes de combustion. Il en résulte un fonctionnement dégradé causant, dans des cas extrêmes, des dommages irrémédiables au système.

Etat de l'art

Des progrès importants ont été réalisés dans la simulation aux grandes échelles (SGE) en régime transcritique avec le code AVBP-RG, développé conjointement par CERFACS et EM2C [1]. Appliqué à plusieurs configurations de validation, pour lesquelles les couples d'ergols et la structure de flamme diffèrent, cet outil de simulation instationnaire reproduit fidèlement les observations faites expérimentalement. Les dernières simulations concernent des configurations académiques pour le développement de modèle d'ordre réduit pour code ingénieur (Figure 1a) [3] ou des cas réalistes présentant des instabilités de combustion à haute fréquence (Figure 1b) [2,4,5]. Les calculs effectués sont très prometteurs, et l'ambiance acoustique mesurée dans les expériences est qualitativement retrouvée dans la simulation.

Objectifs

L'objectif principal de cette thèse est de poursuivre le développement de la simulation numérique des phénomènes d'instabilités HF. Il s'agit ici d'utiliser l'outil numérique pour reproduire et étudier des cas d'interaction flammes transcritiques / ondes acoustiques transverses, mais également mettre en évidence les éventuelles limitations et améliorations à apporter au code. On souhaite accroître les capacités prédictives du code pour la simulation d'instabilités de combustion.

Un objectif complémentaire à l'activité de simulation est de transférer les connaissances acquises dans une modélisation dynamique d'ordre réduit pour l'analyse de stabilité HF. On souhaite améliorer un outil utilisé actuellement en conception pour la prévision des instabilités. Ce développement s'appuiera sur les résultats numériques et les données expérimentales acquises récemment pour la formulation et la validation des sous-modèles.

Thèmes de recherche envisagés

(1) Simulation aux grandes échelles de la dynamique HF de l'injection et la combustion dans des configurations réalistes et naturellement instables. Cette thématique intègre une partie d'utilisation et d'analyse fine de simulations avec l'outil existant.

(2) Etude numérique de configurations coaxiales réactives simplifiées pour l'étude de l'interaction acoustique / flamme pour la compréhension des instabilités de combustion, pour leur modélisation et pour la validation de modèles.

(3) Modélisation de l'amortissement acoustique. L'amortissement acoustique est un terme de premier ordre dans l'analyse de stabilité de combustion HF. L'objectif de cette partie de l'étude est de formuler un modèle permettant de représenter les mécanismes d'amortissement dans un code d'ordre réduit. La représentation de l'amortissement constitue également un problème pour la SGE.

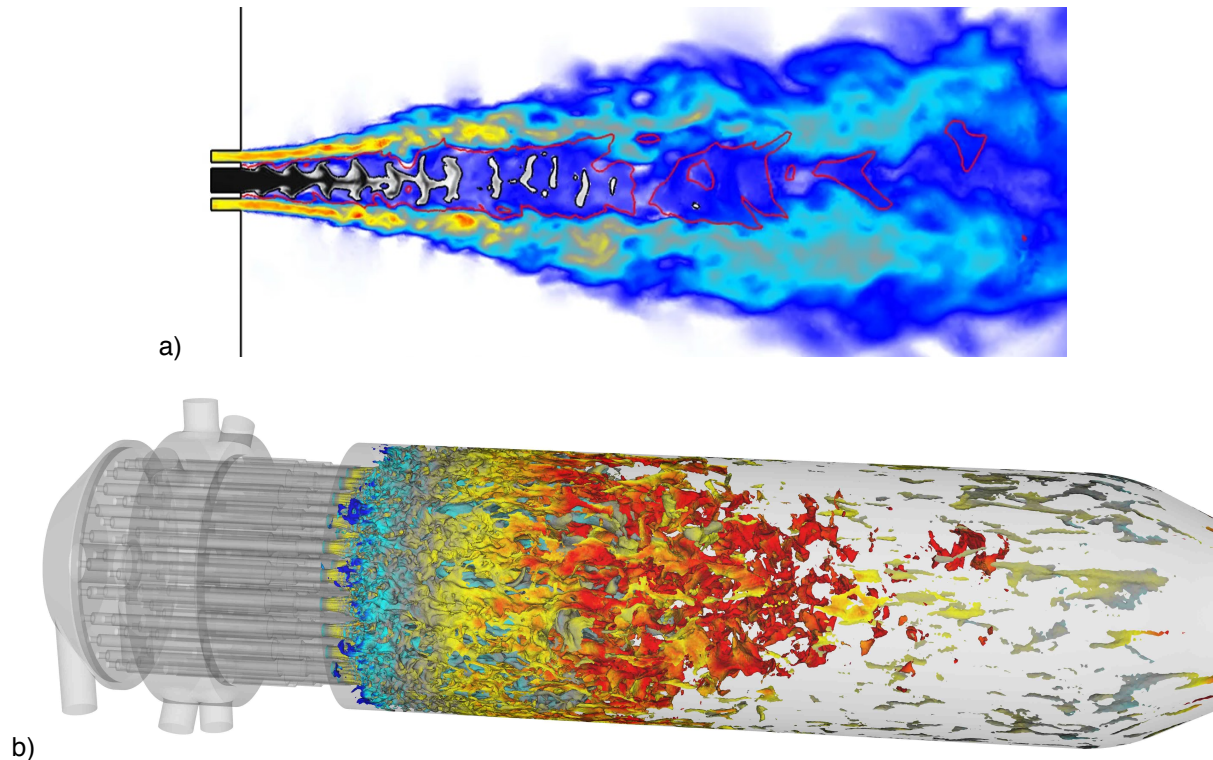


Figure 1 : a) SGE d'un injecteur coaxial - cas avec une modulation acoustique de l'injecteur central de LOx. Coupe longitudinale de masse volumique (gris) et de vitesse axiale (bleu et rouge) pour une fréquence de modulation de 8 000 Hz [3]. b) Iso-surface de température (2100 K) colorée par la vitesse axiale (bleu : -150 m s^{-1} ; rouge : 450 m s^{-1}) issues de la SGE du banc BKD du DLR équipé de 42 injecteurs coaxiaux et naturellement instable [2,5].

Bourse de thèse

Une bourse de thèse ministérielle accessible sur concours est prévue pour cette recherche.

Laboratoire d'accueil et équipe d'encadrement

Le travail sera réalisé au sein du laboratoire EM2C, CNRS, basé à l'Ecole CentraleSupélec dans l'équipe combustion cryotechnique sous la direction de :

- Sébastien Ducruix, Directeur de Recherche au CNRS (sebastien.ducruix@ecp.fr)
- Thomas Schmitt, Chargé de Recherche au CNRS (thomas.schmitt@ecp.fr)

Références

- [1] T. Schmitt, Y. Mery, M. Boileau and S. Candel (2011) Proceedings of the Combustion Institute 33. 1383-1390. Large eddy simulation of oxygen/methane flames under transcritical conditions.
- [2] A. Urbano, L. Selle, G. Staffelbach, B. Cuenot, T. Schmitt, S. Ducruix and S. Candel. (2016) "Exploration of combustion instability triggering using Large Eddy Simulation of a multiple injector Liquid Rocket Engine". Combustion and Flame. 169 : 129-140.
- [3] R. Nez, T. Schmitt, M. Gonzalez-Flesca, S. Candel, S. Ducruix. (2017) "Response of a transcritical coaxial flame to fuel injection rate modulations: analysis and low-order modeling of the generation of unsteady heat release rate". 7TH European Conference for Aeronautics and Aerospace Sciences (EUCASS) july 2017, Milan
- [4] T. Schmitt, A. Coussement, S. Ducruix, S. Candel. (2016) "Large Eddy Simulations of high amplitude self-sustained acoustic oscillations in a rocket engine coaxial injector in the transcritical regime". Proceedings of Space Propulsion 2016 (may 2016, Roma, Italy)
- [5] T. Schmitt, G. Staffelbach, S. Ducruix, S. Gröning, J. Hardi, M. Oswald. (2017) "Large-Eddy Simulations of a sub-scale liquid rocket combustor: influence of fuel injection temperature on thermo-acoustic stability". 7TH European Conference for Aeronautics and Aerospace Sciences (EUCASS) july 2017, Milan