

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Dynamique et instabilités de combustion d'une flamme swirlée Lox/méthane en conditions d'injection transcritiques dans les moteur-fusées

Référence : **MFE-DMPE-2022-07**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2022

Date limite de candidature : 1^{er} mars 2022

Mots clés Simulation numérique - RANS – LES – Moteur-fusée – Propulsion liquide – Méthane – SWIRL – Conditions transcritiques - LOx/CH₄

Profil et compétences recherchées

Ingénieur grande école et/ou master 2 recherche en mécanique des fluides et énergétique

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Dans un contexte de plus en plus concurrentiel du milieu spatial, l'Europe cherche à développer des moteurs à très bas coût qui propulseront les futurs lanceurs européens. Au niveau de la propulsion liquide, plusieurs options technologiques sont explorées comme l'utilisation d'un mélange de dioxygène liquide et de méthane et des injecteurs à swirl. En effet, la performance des moteur-fusées à propergol liquide dépend du couple d'ergols choisi mais également de nombreux phénomènes comme l'atomisation, l'évaporation, le mélange et la combustion. Ces différents phénomènes sont en partie déterminés par les injecteurs. Plusieurs concepts d'injection sont disponibles dans le domaine spatial comme l'injection coaxiale par cisaillement (shear coax) qui était jusqu'alors employée, l'injection par impact (impinging) ou l'injection tourbillonnaire (swirl) ([1]). Tout injecteur doit introduire les propergols dans la chambre de combustion de manière à favoriser leur mélange et l'atomisation des gouttelettes que cela soit par cisaillement ou par d'autres moyens mécaniques. L'utilisation d'injecteur à swirl est une piste intéressante pour renforcer l'atomisation et le mélange ([2],[3]). Si certaines configurations d'injecteur à swirl augmentent la stabilisation de la flamme ([4]), elles sont difficiles à concevoir et peuvent conduire à des problèmes d'instabilité de combustion et de thermique à la paroi ([5]). En collaboration avec le CNES, l'ONERA mène des recherches sur les injecteurs à swirl afin de mieux comprendre les phénomènes physiques complexes impliqués dans leur fonctionnement. Ces recherches doivent aider à leur conception afin d'en diminuer les coûts et d'augmenter leur fiabilité. Ainsi, une campagne expérimentale de tirs a été menée sur le banc MASCOTTE, le banc de l'ONERA, pour l'étude des moteurs cryogéniques, équipé d'un injecteur à swirl pour le couple d'ergols Lox/CH₄. Cette campagne couvre des conditions d'injection subcritiques et transcritiques. Elle a permis de mettre en place une large base de validation pour les calculs. Une première série de simulations numériques de type RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) a alors, été réalisée et a été confrontée à cette base de validation pour des conditions transcritiques. Elle a posé les premiers jalons pour des investigations numériques plus poussées.

L'objectif de cette thèse est d'étudier la dynamique de la flamme Lox/CH₄ dans les écoulements swirlés tout en développant la méthodologie numérique nécessaire à la mise en œuvre du calcul mais également pour son exploitation et d'aider ainsi à la conception des injecteurs à swirl. Pour ce faire, après avoir mené une étude bibliographique approfondie, le doctorant réalisera une simulation LES (Large Eddy Simulation) de référence qu'il comparera à la base de données expérimentales pour les points de fonctionnement supercritiques. Suivant les résultats obtenus, il pourrait être alors envisagé de complexifier cette simulation en prenant en compte la conduction à la paroi, la condensation de la vapeur d'eau, le rayonnement et éventuellement la création de suies si l'avancement de projets connexes l'autorise afin d'avoir une comparaison avec des données expérimentales le plus poussée possible. Dans le même temps, le doctorant portera un effort spécifique sur l'exploitation des résultats de cette simulation. Son travail de recherche devra l'amener à définir avec précision les différentes caractéristiques de la partie swirlée de l'écoulement mais également de la flamme particulière qui en découle. Il pourra s'appuyer sur une étude bibliographique ainsi que sur l'expertise de l'ONERA de ce type d'injecteur dans le domaine de l'aéronautique ([6]). Il sera également important d'évaluer les potentielles instabilités thermoacoustiques en développant les outils adéquats basés sur les bilans d'énergie fluctuante et les bilans acoustiques ([7]).

A l'issue de la thèse, la meilleure compréhension de la flamme swirlée devrait aider à améliorer la conception d'injecteur à swirl afin de renforcer leurs performances et leur stabilité et permettre une meilleure compréhension des instabilités thermoacoustiques pour ce type d'injecteur.

- [1] Haidn, O.J.: Advanced Rocket Engines. In: Advances on Propulsion Technology for High-Speed Aircraft, 6-1-6-40 (1992)
- [2] Zhongtao Kang a, Zhen-guo Wang b, Qinglian Li b, Peng Cheng B, Review on pressure swirl injector in liquid rocket engine, Acta Astronautica 145 (2018) 174–198
- [3] Xingjian Wang and Vigor Yang, High-Fidelity Simulation of Combustion Processes in Liquid Rocket Engines, 10th U. S. National Combustion Meeting, April 2017
- [4] Nazim Merlo. Caractérisation expérimentale d'une flamme turbulente non prémélangée swirlée : effet de l'enrichissement en oxygène. Thermique [physics.class-ph]. Université d'Orléans, 2014
- [5] Umut Guven. Simulation haute-fidélité de la combustion pour les moteurs-fusées. Mécanique des fluides [physics.class-ph]. Normandie Université, 2018.
- [6] Donjat D. Étude et modélisation de l'hydrodynamique interne d'un injecteur mécanique de turboréacteur, Thèse de doctorat en Énergétique et dynamique des fluides, Toulouse, ENSAE (2003).
- [7] Radenac E. Fluctuating Energy Balance Method for Postprocessing Multiphase Flow Computations, Journal of Propulsion and Power, Vol. 29, No. 3, May–June 2013
- [8] Genot, Aurélien. Instabilités thermoacoustiques dans les moteurs à propergol solide. 2019. Thèse de doctorat. Université Paris-Saclay

Collaborations envisagées

M2P2, CNES

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Département Multi-physiques pour l'énergétique

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

Contact : Aurélie NICOLE – Aurélien GENOT

Tél. : 01 80 38 60 38 Email : aurelie.nicole@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Pierre BOIVIN

Laboratoire : Laboratoire de mécanique, modélisation et procédés propres (M2P2)

Tél. : 04 13 55 40 52

Email : pierre.boivin@univ-amu.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>