

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Modélisation du couplage instationnaire flamme-turbulence dans les superstatoréacteurs

Référence : **MFE-DMPE-2022-15**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2022

Date limite de candidature : Mai 2022

Mots clés : combustion supersonique, modélisation interaction flamme-turbulence, simulation LES, schémas numériques, différences spectrales

Profil et compétences recherchées

Master ou équivalent en mécanique des fluides.

Goût prononcé pour la modélisation physique et la simulation numérique. Expérience avérée en programmation.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

L'actualité récente montre le regain d'intérêt pour les engins hypersoniques. La propulsion de ces derniers repose sur la mise au point de superstatoréacteurs dans lesquels les nombres de Mach dans la chambre de combustion demeurent supersoniques. Pour les chambres aéronautiques classiques opérant en régime subsonique, le recours à la simulation aux grandes échelles (LES) a permis d'obtenir des prévisions en très bon accord avec les données expérimentales disponibles. Pour ce type de simulations, la récente utilisation de schémas de type différences spectrales (SD) [1], alliant ordre élevé et facilité d'adaptation local de l'ordre du schéma s'est révélée prometteuse. Ainsi, le logiciel Jaguar est développé au Cerfacs et à l'Onera et les fonctionnalités combustion pour des applications subsoniques font l'objet d'une thèse actuellement co-encadrée par H. Deniau.

En régime supersonique, la modélisation de la combustion s'avère plus complexe qu'en régime subsonique. Ainsi la simulation numérique de la combustion supersonique, indispensable pour la conception, semble pour l'heure moins maîtrisée.

L'objectif de la présente thèse est d'étendre le code Jaguar [2] à la combustion supersonique, dont la principale différence réside dans la nature de l'interaction entre la flamme et la turbulence. Dans les chambres subsoniques classiques, la flamme est mince et plissée par la turbulence (nombres de Damköhler élevés, régime dit de flammelettes ou flammes minces) alors qu'en combustion supersonique, la flamme est épaissie voire scindée en zones de réactions dites distribuées par les plus petites échelles de la turbulence (faibles nombres de Damköhler). La modélisation de l'interaction flamme-turbulence (TFI) doit donc être modifiée. En utilisant un maillage suffisamment fin et en profitant de l'ordre élevé du schéma et de la très bonne scalabilité du code Jaguar en calcul parallèle, une simulation sans modèle d'interaction flamme-turbulence semble envisageable. Toutefois, la nécessité de rendre les simulations numériques abordables pour l'application industrielle impliquera l'utilisation de maillages plus grossiers rendant la modélisation de l'interaction flamme-turbulence indispensable. Tout d'abord, une étude bibliographique approfondie permettra d'identifier un modèle de combustion turbulente adapté aux faibles nombres de Damköhler. Dans ce contexte, la possibilité d'adapter des modèles de combustion turbulente initialement développés pour les régimes de flammes minces, notamment le modèle TFLES [3], pourra également être explorée.

Les améliorations ou nouveaux modèles de combustion turbulente mis au point seront ensuite validés et évalués à l'aide de simulations numériques d'un montage académique de flamme supersonique hydrogène-air [4]. Finalement, des simulations d'une configuration expérimentale plus représentative des chambres de statoréacteurs sont envisagées [5].

[1] Liu, Y., Vinokur, M., & Wang, Z. J. (2006). Spectral difference method for unstructured grids I: Basic formulation. *Journal of Computational Physics*, 216(2), 780-801.

[2] Cassagne, A., Boussuge, J. F., Villedieu, N., Puigt, G., D'ast, I., & Genot, A. (2015, March). Jaguar: a new CFD code dedicated to massively parallel high-order LES computations on complex geometry. In *The 50th 3AF International Conference on Applied Aerodynamics (AERO 2015)*.

[3] Colin, O., Ducros, F., Veynante, D., & Poinso, T. (2000). A thickened flame model for large eddy simulations of turbulent premixed combustion. *Physics of fluids*, 12(7), 1843-1863.

- [4] Cheng, T. S., Wehmeyer, J. A., Pitz, R. W., Jarrett Jr, O., & Northam, G. B. (1994). Raman measurement of mixing and finite-rate chemistry in a supersonic hydrogen-air diffusion flame. *Combustion and Flame*, 99(1), 157-173.
- [5] Vincent-Randonnier, A., Moule, Y., & Ferrier, M. (2014). Combustion of hydrogen in hot air flows within LAPCAT-II dual mode ramjet combustor at Onera-LAERTE facility-experimental and numerical investigation. In 19th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference (p. 2932).
- [6] G. De Lucas (2021). Development of a dynamic LES model for turbulent diffusion flame. These université de Paris-Saclay.
- [7] B. Cuénot, F. Shum-Kivan, S. Blanchard (2021). The thickened flame approach for non-premixed combustion: Principles and implications for turbulent combustion modeling. *Combustion and Flame*, available online: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2021.111702>
- [8] Y. Lv, M. Ihme (2014). Discontinuous Galerkin method for multicomponentchemically reacting flows and combustion. *J. of Computational Physics* 270, 105-137
- [9] C. Fureby (2021). Subgrid Models, Reaction Mechanisms, and Combustion Models in Large-Eddy Simulation of Supersonic Combustion. *AIAA Journal* (59) 1, Janv. 2021

Collaborations envisagées

DGA/AID

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : DMPE

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Contact : H. Deniau, A. Genot et J.-M. Senoner

Tél. : 05 62 25 28 07 Email : hugues.deniau@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Guillaume Puigt

Laboratoire : DMPE

Tél. : 05 62 25 29 40

Email : guillaume.puigt@onera.fr

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