

**PROPOSITION DE SUJET DE THESE**

**Intitulé : Adaptation en ordre pour la simulation numérique de la combustion turbulente prémélangée avec un code de différences finies spectrales**

Référence : **MFE-DMPE-SNA-2023-12**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse :** début octobre 2023

**Date limite de candidature :** printemps 2023

**Mots clés :** Simulation numérique aux grandes échelles, écoulements réactifs, méthodes des différences spectrales, analyse numérique

**Profil et compétences recherchées :** Master 2 recherche en mécanique des fluides, compétences avérées en analyse numérique et goût prononcé pour la programmation, notamment Fortran90/95 (code) et Python (pré- et post- traitement)

**Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :**

Le code de simulation Jaguar, basé sur la méthode des différences spectrales et co-développé par l'ONERA et le CERFACS, apparaît comme une approche prometteuse pour la réalisation de simulations aux grandes échelles haute-fidélité d'écoulements réactifs turbulents via une représentation d'ordre élevé de la solution. Les travaux antérieurs ont permis de confirmer ce potentiel, en démontrant notamment qu'il était avantageux de résoudre un front de flamme avec une approximation polynomiale d'ordre élevé sur peu de cellules plutôt que d'utiliser une approximation polynomiale d'ordre plus faible sur un nombre plus important de cellules [1]. Par ailleurs, l'utilisation d'une approximation polynomiale d'ordre plus faible en dehors des zones d'intérêt, i.e. suffisamment en aval du front de flamme, permet de limiter le coût de calcul des simulations. Ainsi, la variation spatiale de l'ordre de discrétisation polynomiale, communément désigné « raffinement en p », semble une voie prometteuse pour améliorer le ratio coût de calcul/précision de la méthode des différences finies spectrales pour ce type d'applications. Cependant, l'utilisation du raffinement en p a révélé un manque de robustesse du code, en lien avec une discrétisation non consistante de l'opérateur de diffusion. L'ajout d'un terme de relèvement (i.e. de pénalisation) préconisé par Bassi et Rebay [2] pour les approches de type Galerkin discontinu a permis d'améliorer la robustesse (formulation dite BR2). Par la suite, Gassner et al. [3] ont dérivé la formule exacte du terme de correction pour la résolution d'une équation de diffusion scalaire en présence d'une discontinuité et nommé leur approche diffusive Generalized Riemann Problem (dGRP). On propose d'effectuer une étude comparative de stabilité entre les formulations BR2 et dGRP dans un cadre monodimensionnel. Suite aux conclusions de cette étude, une extension de l'opérateur de diffusion basé sur l'approche dGRP aux systèmes d'équation pourra être formulée et finalement être implémentée dans le code Jaguar.

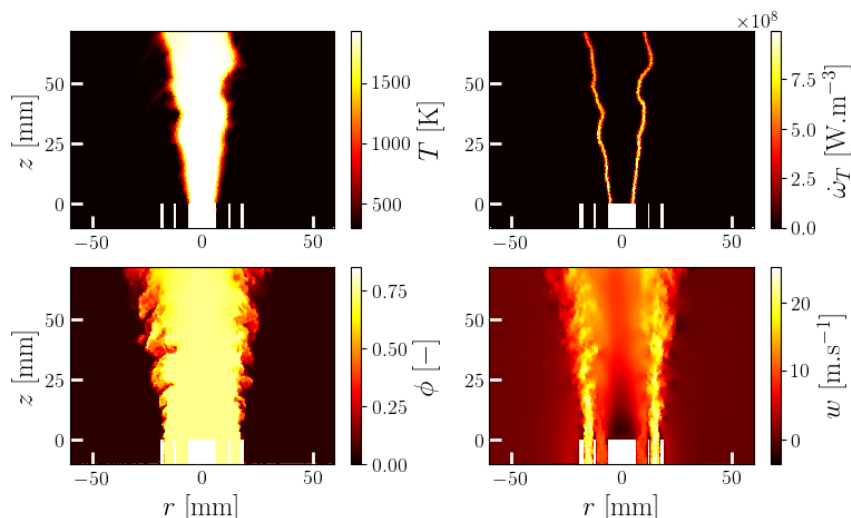


Figure 1 - Vues instantanées d'une flamme turbulente calculée avec Jaguar, respectivement champs de température, de taux de dégagement de chaleur, de richesse et de vitesse (thèse de T. Marchal – 2019-2022)

La modélisation de la combustion turbulente prémélangée dans Jaguar repose sur le modèle dit de flamme épaissie, qui consiste à épaissir artificiellement le front de flamme afin de permettre sa résolution directe sur le maillage de calcul. Cet épaississement modifie cependant l'interaction flamme-turbulence et nécessite notamment de modéliser les effets du plissement non résolu du front de flamme sur l'écoulement. Cette modélisation étant nécessairement entachée d'erreurs, il convient de limiter l'épaississement, en s'assurant cependant d'une représentation non oscillante des gradients et profils d'espèces chimiques. Une approche originale d'épaississement basée sur des considérations géométriques a récemment été proposée par Rochette et al. [4]. Les auteurs proposent de déterminer une iso-surface du front de flamme basée sur la courbure du taux de réaction de l'espèce « carburant ». À l'aide d'une estimation de l'épaisseur de flamme, la distance à l'iso-surface est ensuite évaluée dans un proche voisinage. On se propose d'étudier les modalités d'implémentation d'une telle approche dans le code Jaguar à l'aide d'une méthode de redistanciation issue des approches Level-Set [5].

Enfin, il est envisagé d'évaluer l'apport de l'ensemble de ces développements en réalisant des simulations aux grandes échelles de l'écoulement turbulent prémélangé réactif au sein d'un brûleur expérimental, par exemple le montage Preccinsta [6].

#### Références bibliographiques :

- [1] Marchal T., de Brauer A., Deniau H., Boussuge J-F., Cuenot B., Mercier R. (2022). Efficiency of high-order strong discontinuous spectral methods in combustion. *39th International Symposium on Combustion*. Vancouver, July 2022.
- [2] Bassi, F., & Rebay, S. (1997). A high-order accurate discontinuous finite element method for the numerical solution of the compressible Navier–Stokes equations. *Journal of Computational Physics*, 131(2), 267-279.
- [3] Gassner, G., Lörcher, F., & Munz, C. D. (2007). A contribution to the construction of diffusion fluxes for finite volume and discontinuous Galerkin schemes. *Journal of Computational Physics*, 224(2), 1049-1063.
- [4] Rochette, B., Riber, E., Cuenot, B., & Vermorel, O. (2020). A generic and self-adapting method for flame detection and thickening in the thickened flame model. *Combustion and Flame*, 212, 448-458.
- [5] Sussman, M., Smereka, P., & Osher, S. (1994). A level set approach for computing solutions to incompressible two-phase flow. *Journal of Computational Physics*, 114(1), 146-159.
- [6] Meier, W., Weigand, P., Duan, X. R., & Giezendanner-Thoben, R. (2007). Detailed characterization of the dynamics of thermoacoustic pulsations in a lean premixed swirl flame. *Combustion and Flame*, 150(1-2), 2-26.

**Collaborations envisagées** : Les développements prévus au cours de la thèse ainsi que l'encadrement se feront en collaboration avec le CERFACS

#### Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Multi-Physique pour l'Energétique

Lieu (centre ONERA) : Centre de Toulouse

**Contact** : Hugues Deniau

Tél. : + 33 5 62 25 28 07 Email : Hugues.Deniau@onera.fr

#### Directeur de thèse

Nom : Bénédicte Cuenot

Laboratoire : CERFACS

Tél. : + 33 5 61 19 30 44

Email : cuenot@cerfacs.fr

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