

## PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DMPE-2025-13**  
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : ONERA, Centre de Toulouse

Département/Dir./Serv. : DMPE / MH

Tél. : 05 62 25 28 07 / 05 62 25 28 19

Responsable(s) du stage : Hugues Deniau,  
Jean-Mathieu Senoner

Email. : hugues.deniau@onera.fr  
jean-mathieu.senoner@onera.fr

### DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Méthodes numériques, Schémas numériques d'ordre élevé, méthode de Galerkin discontinue, méthode des différences spectrales, méthode de frontières immergées

Type de stage :       Fin d'études bac+5       Master 2       Bac+2 à bac+4       Autres

**Intitulé : Etude de conditions limites par frontières immergées pour des méthodes de type discontinuous Galerkin: extension au cas multi-espèces**

Sujet :

Ce stage est à la croisée de deux grandes thématiques très étudiées actuellement: les méthodes de frontières immergées et les schémas d'ordre élevé. Classiquement, pour simuler un écoulement sur une paroi, on va définir un maillage épousant la forme de celle-ci, ce qui peut être complexe si on souhaite représenter des rugosités ou un milieu poreux. Dans la méthode des frontières immergées (immersed boundary methods ou IBM en anglais), le maillage n'épouse plus la forme de la paroi et l'action de celle-ci sur l'écoulement est modélisée par l'ajout de termes de pénalisation dans les équations de Navier-Stokes. Une revue assez détaillée des méthodes de pénalisation est proposée dans la référence [1].

Dans les schémas Volumes finis classique précis au second ordre, le champ est supposé constant sur chaque cellule du maillage. La méthode de Discontinuous Galerkin (DG) consiste à représenter la solution par un polynôme au sein de chaque cellule, sans imposer de condition de continuité à l'interface entre deux cellules. Cette approche permet d'obtenir des schémas d'ordre supérieur à deux sur maillage non-structuré, tout en garantissant une certaine robustesse en présence de discontinuités.

Depuis 2018, le Cerfacs et l'Onera co-développent un code dédié (Jaguar) pour une classe particulière de méthodes DG: les Différences Spectrales (Spectral Differences ou SD en anglais). De nombreuses simulations d'écoulements réactifs ont permis de valider le code Jaguar et montré la pertinence d'utiliser une méthode d'ordre élevé pour réaliser ces simulations: à iso-nombre de degrés de liberté, augmenter l'ordre du schéma s'avère plus précis que conserver son ordre tout en raffinant le maillage. Une première version de la méthode IBM a été développée au Cerfacs et implémentée dans le code Jaguar dans le cadre de la thèse d'Eloïse D'Ayer, dont l'objectif est la simulation d'écoulements turbulents sur paroi rugueuse.

Déroulement du stage

Le stage se réalisera en étroite collaboration avec Eloïse D'Ayer au Cerfacs. Il se divisera en 2 parties principales:

1) Nous nous placerons d'abord dans le cas d'un gaz parfait pour étudier l'influence de certains termes de pénalisation non pris en compte dans la formulation actuelle mais dont l'importance est, selon la littérature [2-3], cruciale pour des écoulements fortement compressibles ou avec de fortes variations de masse volumique. Les cas test seront 1D ou 2D. Les différentes formulations seront comparées en terme de précision et de robustesse. Un exemple classique d'un tel cas test est la diffraction d'une onde sur un cylindre, pour lequel il existe une solution analytique.

2) Dans la seconde partie, le fluide ne sera plus un gaz parfait mais un mélange de plusieurs espèces. Le travail sera ainsi consacré à l'extension de ces méthodes de pénalisation pour les espèces chimiques. Les conditions limites à la paroi pour ces espèces sont de type Neumann, c'est-à-dire imposées sur le gradient et non sur le champ, contrairement aux composantes de la vitesse ou de la température pour une paroi isotherme traitées jusqu'à présent. Ce travail s'appuiera sur une publication récente [4]. L'utilisation de cas test 1D permettra d'étudier rapidement la pertinence de la discrétisation proposée.

Une poursuite de ces travaux en thèse (collaboration Onera-Cerfacs) est envisagée.

Références:

[1] F. Miralles, B. Koobus, The immersed boundary approach. A review. <https://imag.umontpellier.fr/~koobus/NORMA.d/Delivrables.d/IBM-biblio.pdf>, April 2021

[2] Q. Liu, O. Vasilyev, Brinkman penalization method for compressible flows in complex geometries, Journal of Computational Physics, vol 227, 2007

[3] N. Anand, N. Pour, H. Klimach, S. Roller, Utilization of the Brinkman Penalization to Represent Geometries in a High-Order Discontinuous Galerkin Scheme on Octree Meshes, <https://doi.org/10.3390/sym11091126> 2019

[4] JH Wang, C. Zhang,, The variable-extended immersed boundary method for compressible reactive flows past solid bodies, Numerical Method in Engineering. 2021

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? **Non**

**Méthodes à mettre en oeuvre :**

- |   |  |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche théorique | <input checked="" type="checkbox"/> Travail de synthèse      |
| <input type="checkbox"/> Recherche appliquée            | <input checked="" type="checkbox"/> Travail de documentation |
| <input type="checkbox"/> Recherche expérimentale        | <input type="checkbox"/> Participation à une réalisation     |

Possibilité de prolongation en thèse : **Oui**

**Durée du stage :** Minimum : 5 mois Maximum : 5 mois

Période souhaitée : février -septembre 2025

**PROFIL DU STAGIAIRE**

Connaissances et niveau requis : Mécanique des fluides, Méthodes numériques, Programmation en Fortran/Python	Ecoles ou établissements souhaités : Université ou grandes écoles d'ingénieur
---	--