

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DMPE-2025-17**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Toulouse

Département/Dir./Serv. : DMPE/HEAT

Tél. : 05 62 25 25 18

Responsable(s) du stage : Yann Dauvois

Email. : yann.dauvois@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Écoulements hypersoniques

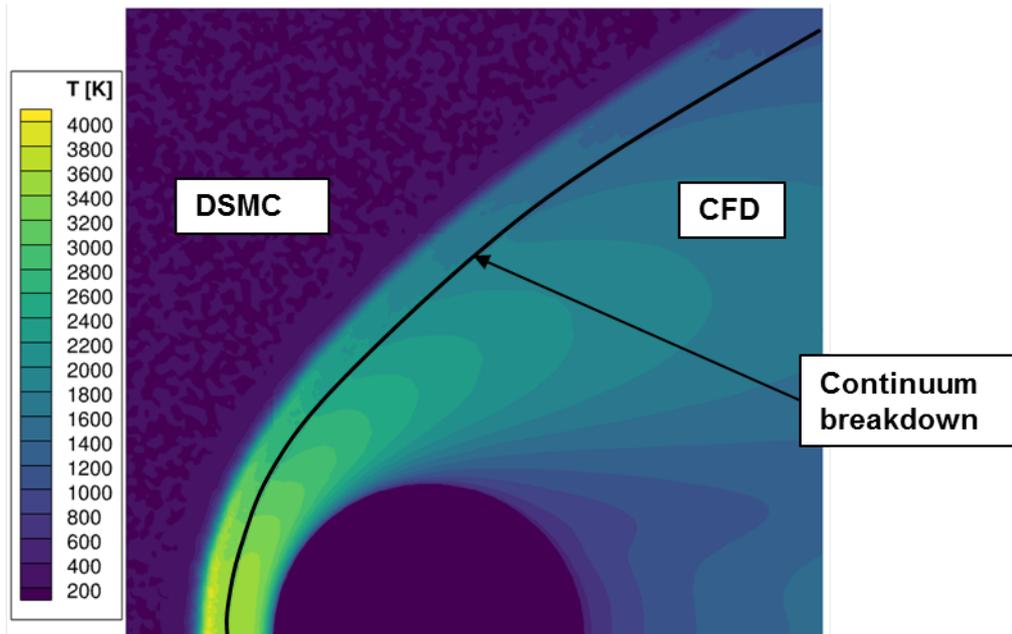
Type de stage : Fin d'études bac+5 Master 2 Bac+2 à bac+4 Autres

Intitulé : Simulation numérique de la rentrée atmosphérique de véhicules spatiaux à la frontière des régimes continu et raréfié

Sujet : Pour concevoir un corps de rentrée atmosphérique, pour prédire le comportement des débris spatiaux qui chutent dans l'atmosphère ou pour prévoir la performance d'une soufflerie, les ingénieurs doivent connaître la pression et le flux de chaleur qui s'exercent autour de la surface d'une forme spatiale ou d'une maquette. Lors d'une rentrée atmosphérique, l'objet traverse plusieurs couches de l'atmosphère de densité différente. À basse altitude ($h < 60$ km), l'air est dans le régime continu (dense) et on résout les équations RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) par une méthode des volumes finis qui de par sa rapidité d'exécution permet de répondre à une grande variété de problématiques industrielles. À haute altitude ($h > 120$ km), l'air est si peu dense que le libre parcours moyen des molécules est du même ordre de grandeur voire plus grand que la taille de l'objet, rendant caduque l'hypothèse du milieu continu. Dans ces conditions raréfiées, les équations de Navier-Stokes ne sont plus valides et on doit considérer les interactions intramoléculaires régies par l'équation de Boltzmann. La méthode de référence pour la résoudre est la méthode stochastique DSMC (Direct Simulation Monte Carlo) qui présente le désavantage d'être très coûteuse pour simuler les gaz denses. À une altitude intermédiaire ($60 \text{ km} < h < 120 \text{ km}$), l'écoulement présente des zones denses et des zones raréfiées, et on ne peut plus utiliser seulement un modèle RANS ou une méthode DSMC. Pour traiter cette situation, l'ONERA a opté par une méthode de séparation des domaines où la partie de l'écoulement dense est résolue par le code RANS CEDRE et la partie de l'écoulement raréfiée est résolue par le code DSMC SPARTA. La problématique du couplage hybride RANS-DSMC est donc principalement un problème de conditions limites où les échanges de quantités fluides macroscopiques issues du domaine dense et de quantités fluides mésoscopiques issues du domaine raréfié doivent être cohérents dynamiquement pour simuler correctement la physique (rétroaction de l'écoulement, capture des chocs).

Après une étude bibliographique sur la simulation des écoulements raréfiés le ou la candidat(e) retenu(e) devra effectuer des simulations numériques 3D d'écoulements hypersoniques à la frontière des régimes continu et raréfié autour de capsules représentatives de missions de rentrée atmosphérique pour lesquelles des données dans la littérature existent. Par exemple, le programme Mercury, le programme Gemini, le programme Apollo, la navette spatiale américaine (Space Shuttle) et le véhicule de rentrée orbitale japonais OREX. En particulier, le ou la stagiaire devra effectuer une étude de convergence en maillage pour chaque cas étudié, une étude de stabilité de la méthode hybride RANS-DSMC de l'ONERA, et évaluer la cohérence entre les modèles de collision appliqués aux molécules à l'échelle mésoscopique et les lois de viscosité, de thermodynamique et de chimie à l'échelle macroscopique. L'analyse des résultats obtenus participera aux recherches actuellement menées au sein du département Multi-Physique pour l'Energétique de l'ONERA et en particulier sur la rentrée atmosphérique des véhicules spatiaux de l'Unité HEAT (Haute Energie et Aérothermique) à Toulouse.

A titre d'exemple on présente ci-dessous le résultat d'une simulation hybride RANS-DSMC d'un gaz d'azote et d'oxygène à Mach 10 autour d'un cylindre. L'écoulement amont et le choc sont simulés par le code DSMC SPARTA et la couche de choc, les effets de paroi et le sillage sont simulés par le code RANS CEDRE.



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

Méthodes à mettre en oeuvre :

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

Possibilité de prolongation en thèse : Non

Durée du stage : Minimum : 5 mois Maximum : 6 mois

Période souhaitée : Démarrage au premier semestre 2025

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :
Mécanique des fluides, écoulements hypersoniques, écoulements raréfiés, C/C++

Ecoles ou établissements souhaités :
écoles d'ingénieurs, université