

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Etude numérique de l'injection d'eau pour la réduction de l'ambiance thermique et acoustique au décollage d'un lanceur.

Référence : **MFE-DMPE-2025-12**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2025

Date limite de candidature : Avril 2025

Mots clés

Multiphysique. Acoustique, thermique, diphasique. Simulation numérique, HPC, exploitation de données. Dynamique des jets. Supersonique.

Profil et compétences recherchées

Titulaire d'un Master 2 et/ou diplôme d'ingénieur. Connaissances solides en mécanique des fluides. Gout pour la simulation numérique. Connaissance de langages de programmation (fortran, python). Notions de traitement du signal.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Lors du décollage d'un lanceur spatial, les jets propulsifs supersoniques (nombre de Mach > 3), chauds (3000 K), non adaptés et de composition chimique distincte de celle de l'air ambiant, génèrent des contraintes thermiques sur les infrastructures du pas de tir ainsi que de forts niveaux acoustiques qui induisent des vibrations élevées sur le lanceur et sa charge utile. Ces contraintes sont des éléments dimensionnants pour la conception du lanceur et de son pas de tir. L'injection d'eau est alors couramment utilisée sur les jets et la table de lancement pour les réduire (voir par exemple pour le pas de tir d'Ariane 6 la vidéo <https://youtu.be/xZB9roFqQJU>).

Depuis plusieurs années, l'ONERA développe des outils et modèles numériques, ainsi que des méthodologies de mise en œuvre, validés et représentatifs des phénomènes (transitoires, aérodynamiques, thermiques, acoustiques et diphasiques) rencontrés au lancement et lors du retour au sol d'étages de lanceurs réutilisables. Les simulations thermiques prennent en compte la convection du fluide, le transfert conductif dans le solide et le mouvement relatif du lanceur. Les simulations acoustiques reposent sur un calcul direct des sources et leur propagation en champ lointain dans un milieu qui peut être hétérogène (eau, produits de combustion, surfaces solides) par couplage dit *two-way* entre un solveur Navier-Stokes et un solveur Euler. Cette approche, mise en place et validée dans le cadre d'une précédente thèse ONERA/CNES [1,2], permet de prendre en compte les effets non-linéaires induits par les forts niveaux acoustiques. La prise en compte de l'eau nécessite une approche multi-échelles : phase dense en sortie de buse (solveur Navier-Stokes multi-fluide) suivie d'une atomisation en gouttes et d'un régime diphasique à phase dispersée (solveur lagrangien ou eulérien). Cette modélisation, initiée dans une précédente thèse ONERA/CNES [3,4], doit être approfondie et fait l'objet de cette thèse.

L'objectif de cette thèse est l'extension de la méthodologie de simulation numérique décrite plus haut à des situations où l'injection d'eau est mise en œuvre pour réduire les niveaux acoustiques ou de température. L'injection d'eau agit sur l'ambiance acoustique et thermique du pas de tir entre autres par un mécanisme de modification à la source de la structure aérodynamique et thermique des jets propulsifs. La première étape de cette thèse consistera dans l'évaluation et le développement de modèles :

- multi-phasiques : ruissellement, pulvérisation, atomisation (par exemple approches de type densité d'interface) et brouillard, pour déterminer au mieux les conditions et la localisation optimales de l'injection de la phase dispersée,
- physiques : chauffage, traînée et évaporation, pour déterminer leur influence sur l'acoustique et la thermique.

Pour disposer de méthodologies validées et représentatives des phénomènes multiphysiques en interaction énumérés ci-dessus, la thèse se basera sur des cas de complexité croissante. Le premier niveau de validation s'appuiera sur des cas académiques. Le second niveau visera à valider les approches numériques sur des cas appliqués simples correspondant à des essais maîtrisés ; par exemple, la caractérisation d'une buse d'injection d'eau et l'étude de l'interaction d'ondes acoustiques non-linéaires avec l'eau. Ces essais

seront menés dans le cadre d'un projet de recherche interne ONERA. Enfin, le Projet d'Intérêt Commun (PIC) en cours avec le CNES permettra l'accès à de nombreuses données expérimentales issues du banc MARTEL (dispositif à échelle réduite de génération de jets issus d'une combustion H₂/air) de l'institut P' de Poitiers. De nouvelles techniques expérimentales permettant la caractérisation de la phase dispersée sont menées dans le cadre d'une thèse P'/CNES en cours et bénéficieront à cette thèse.

Une fois la méthodologie de simulation établie et la physique appréhendée, des paramétrages numériques en parallèle de ceux réalisés expérimentalement (variation des rapports de masse, de quantité de mouvement par exemple) seront menés dans le but final d'optimiser la réduction des niveaux acoustiques et thermiques. L'analyse des résultats de simulation et des comparaisons aux expériences conduiront à des communications dans des congrès et à la rédaction d'articles scientifiques.

[1] A. Langenais, « Adaptation des méthodes et outils aéroacoustiques pour les jets en interaction dans le cadre des lanceurs spatiaux », thèse de doctorat en Mécanique, Energétique, Génie Civil et Acoustique, 2019.

[2] A. Langenais; F. Vuillot; J. Troyes; C. Bailly, "Accurate simulation of the noise generated by a hot supersonic jet including turbulence tripping and nonlinear acoustic propagation", Physics of Fluids 31, 016105, 2019. <https://doi.org/10.1063/1.5050905>

[3] V. Morin, « Etude numérique de l'injection d'eau pour la réduction du bruit de jet de lanceurs spatiaux », Thèse de doctorat en Mécanique des fluides, 2023.

[4] V. Morin, J. Troyes, F. Vuillot, C. Bogey, "Large-Eddy Simulation of a Water Jet Exhausting into Quiescent Air", AIAA Journal, 61-2, 2023. <https://doi.org/10.2514/1.J062067>

Collaborations envisagées

ECL, Institut P'.

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Multi-Physique pour l'Energétique

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Contact : Julien Troyes

Tél. : +33562252822 Email : julien.troyes@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Christophe Bogey

Laboratoire : LMFA, UMR 5509

Tél. : +33472186018

Email : christophe.bogey@ec-lyon.fr

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