

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DOTA-2026-11**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Palaiseau

Département/Dir./Serv. : DOTA/MPSO

Tél. : 01 80 38 63 76

Responsable(s) du stage : Sidonie Lefebvre

Email : Sidonie.lefebvre@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Deep learning, réduction de modèle, champs, signature infrarouge, simulation numérique

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

Intitulé : Métamodélisation de la signature infrarouge de jets propulsifs par deep learning et modèles hybrides

Sujet :

La signature infrarouge des jets de propulseurs est un enjeu central évaluer les performances d'algorithmes de détection d'aéronefs sur fond de ciel. Cette signature est simulée à l'aide de deux chaînes de calcul :

- un code d'aérothermochimie de type CFD RANS (code CEDRE) qui simule les champs 2D-axisymétriques ou 3D de pression, température (Figure 1) et concentrations d'espèces ;
- un code de transfert radiatif, qui en déduit des champs spectraux 2D.

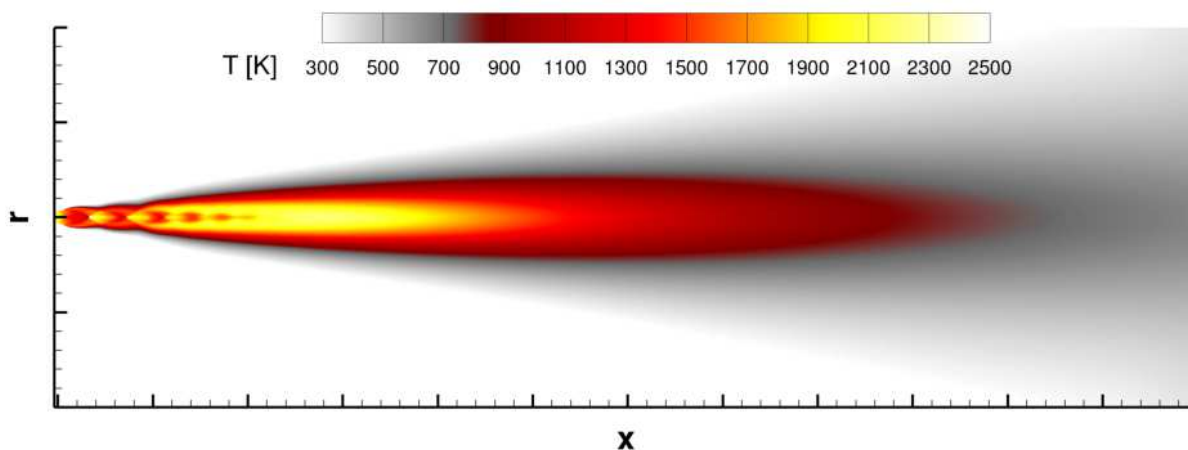


Figure 1: champ moyen de température d'un jet propulsif de moteur à propergol solide, simulé par CFD RANS (code CEDRE).

Ces simulations sont lourdes en temps de calcul, il est donc indispensable de s'appuyer en complément sur des métamodèles mathématiques de substitution ou métamodèles pour :

- réaliser des analyses de sensibilité et de quantification d'incertitudes,
- accélérer les simulations pour le dimensionnement de capteurs, en maîtrisant les incertitudes induites par l'utilisation du métamodèle pour ce dimensionnement.

Les principaux paramètres d'entrée à étudier concernent à la fois des données liées à l'engin (fusée-sonde ou aéronef) comme la composition du carburant, la géométrie du moteur, l'altitude et la vitesse de vol, des données liées aux conditions atmosphériques et des données liées au calcul CFD telles que le raffinement des maillages, le modèle de turbulence, etc.

Nous avons déjà proposé des métamodèles pour des signatures intégrées spatialement [Lefebvre2010] [Coiro2020], et l'objectif du stage sera d'étendre la méthodologie à des champs 2D spectraux. Le ou la candidat(e) s'appuiera pour cela sur des méthodes de réduction de dimension, et évaluera l'apport de

méthodes de réduction de modèles non-linéaires à base de *deep learning* [Nony2023] et notamment de *transformers* [Hemmasian2023], en complément des méthodes type POD ou Karhunen-Loève. Un des points durs concerne la prise en compte de maillages de taille variable, et de données non structurées ; les réseaux à base de graphs (GCNN) conduisent à des résultats intéressants sur ce type de données pour des applications d'aérodynamique.

La deuxième étape portera sur la construction d'un métamodèle, de type processus Gaussien (GP) ou réseau de neurones (NN) sur l'espace de dimension réduite. Afin de réduire les coûts de simulation et de tirer parti de l'excellence de l'ONERA en modélisation des processus physiques, une piste prometteuse consiste à développer des modèles de substitution qui hybrident apprentissage automatique et lois physiques, NN ou GP *physics informed* [Mishra2021].

Si le temps le permet, on s'intéressera également à l'obtention d'intervalles de confiance pour les prédictions. Les méthodes de type *conformal prediction* [Angelopoulos2021] semblent prometteuses sur ce point.

Environnement de travail :

- Langage principal : **Python** (PyTorch, GPFLOW, OpenTURNS...) ;
- Outils CFD / radiatifs fournis par l'ONERA (base de données existante) - collaboration avec Adrien Langenais du DMPE ;
- Travaux au sein du **GIS LARTISSTE** ([site du GIS](#)) - Quantification d'incertitudes.

Références bibliographiques :

[Coiro2020] E. Coiro, S. Lefebvre, R. Ceolato. Infrared Signature Prediction for Low Observable Air Vehicles. AVT-324 Specialists' Meeting on Multi-disciplinary design approaches and performance assessment of future combat aircraft, NATO, 2020, ([hal-03073766](#)).

[Lefebvre2010] S. Lefebvre et al, A methodological approach for statistical evaluation of aircraft infrared signature, Reliability Engineering & System Safety, 2010, <https://doi.org/10.1016/j.ress.2009.12.002>.

[Hemmasian2023] A. Hemmasian, A. Farimani, Reduced-order modeling of fluid flows with transformers. *Physics of Fluids*, 2023, <https://doi.org/10.1063/5.0151515>.

[Nony2023] B. Nony, M. Rochoux, T. Jaravel, D. Lucor, Reduced Order Model for microscale atmospheric dispersion combining multi-fidelity LES and RANS data, ECCOMAS 2023, hal-04310899.

[Mishra2021] S. Mishra, R. Molinaro, Physics informed neural networks for simulating radiative transfer, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2021.107705>.

[Angelopoulos2021] A. Angelopoulos et S. Bates, A Gentle Introduction to Conformal Prediction and Distribution-Free Uncertainty Quantification, arXiv:2107.07511.

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

Méthodes à mettre en oeuvre :

- | | |
|---|--|
| ☒ Recherche théorique | ☐ Travail de synthèse |
| ☒ Recherche appliquée | ☒ Travail de documentation |
| ☐ Recherche expérimentale | ☐ Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

Durée du stage : Minimum : 4 mois Maximum : 5 mois (6 mois sur dérogation uniquement)

Période souhaitée : début courant du premier semestre 2026

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis : Deep Learning, Pytorch, ViT, Gaussian Processes	Ecoles ou établissements souhaités : Étudiant(e) en dernière année d'école d'ingénieur ou Master 2 en mathématiques appliquées, data science, physique
---	---