

## Invitation à la soutenance de thèse

**MODELISATION DES GRANDEURS AEROTHERMODYNAMIQUES PARIETALES :  
APPLICATION A LA RENTREE ATMOSPHERIQUE DES LANCEURS REUTILISABLES**

-

**AEROTHERMODYNAMIC MODELLING FOR REUSABLE LAUNCHERS**

Melissa Lantelme

**29.05.2024 à 10h00**

**Auditorium de l'ONERA à Toulouse au 2 Avenue Edouard Belin**

<https://rdv.onera.fr/SoutenanceMelissaLantelme>

### Devant le jury composé de :

Dr. Emmanuel Rachelson	Professeur ISAE-SUPAERO	Examineur
Dr. Marina Olazabal-Loumé	Directrice de recherche CEA – CESTA	Rapporteur
Dr. Thierry Magin	Professeur de l'Université de Bruxelles/ VKI	Rapporteur
Dr. Sebastian Karl	Docteur DLR	Examineur
Dr. Nathalie Bartoli	Directrice de recherche ONERA	Directrice de thèse
Dr. Ysolde Prévereaud	Docteure ONERA	Encadrante de thèse

### Résumé

Cette étude consiste à développer une méthode de prévision de la distribution du flux de chaleur surfacique pour des lanceurs réutilisables qui soit adaptée à une phase de conception préliminaire. Les phases de vol hypersonique les plus critiques lors de la rentrée atmosphérique du lanceur sont celles pour lesquelles les flux de chaleur les plus importants apparaissent à la surface. Ainsi, pour les études de conception et de préparation de mission, il est indispensable de posséder des outils élaborés et rapides qui permettent d'obtenir des estimations de ces flux de chaleur surfaciques. Cela permet ainsi un dimensionnement rapide du design étudié car le flux de chaleur est une donnée d'entrée pour un grand nombre de disciplines : l'aérodynamique, l'optimisation de la trajectoire, la conception structurelle, etc. L'objectif principal de cette thèse est d'évaluer si l'utilisation des méthodes de « Machine Learning » apporte une plus-value pour le développement d'un modèle de prévision de la distribution du flux de chaleur convectif-diffusif surfacique. Pour cela, une méthode utilisant deux modèles de substitution consécutifs est proposée. Le premier modèle de substitution basé sur les

processus gaussiens est établi pour effectuer un adimensionnement des variables. Cela permet par la suite d'utiliser le modèle indépendamment des conditions de vol et d'altitude. Le deuxième modèle de substitution développé est basé sur les réseaux de neurones. Il établit la corrélation entre les variables d'entrée – topologie de pression surfacique et variables géométriques – et le flux de chaleur en sortie. Dans le cadre de cette thèse, la méthode a été testée et développée pour un écoulement hypersonique laminaire en régime continu. Pour analyser ses capacités et limites, nous avons appliqué cette méthode sur l'étage orbital du concept de lanceur réutilisable nommé « SpaceLiner ». Une base de données de simulations Navier-Stokes est établie sur un ensemble de points de vol et d'orientation choisis. Les variables d'entrée sont adimensionnées à partir d'équations existantes ou de transformations mathématiques simples. Pour l'adimensionnement du flux de chaleur un modèle de substitution pour la prévision du flux de chaleur au point d'arrêt pour notre domaine d'intérêt est développé en couplant le modèle de Lepage-Vérant et un modèle de Krigeage. Cela nous permet d'obtenir une prévision avec une erreur moyenne relative de 1.9% par rapport aux résultats CFD. Le développement puis l'évaluation du réseau de neurones pour la prévision du flux de chaleur en tout point de la paroi sont effectués. Nous avons comparé nos résultats à ceux issus de calculs CFD à la fois dans des zones convexes et – partiellement– dans des zones planes de façon satisfaisante avec une précision supérieure ou égale à celle des méthodes existantes. Des réseaux de neurones entraînés sur un petit nombre de points de vol sont capables d'interpoler et d'extrapoler les résultats à d'autres points de vol à proximité. Cependant, dans des zones où la valeur du flux de chaleur adimensionné est très faible (inférieur à 0.05), le modèle reste peu fiable. Toutefois cet aspect n'est pas essentiel dans une étude de conception préliminaire. De plus, la base de données n'est pas adaptée au développement d'un modèle de substitution pour la zone concave. Comme les modèles existants, la méthode proposée ne réussit pas à prédire les phénomènes physiques complexes comme des interactions choc-choc. En conclusion, la méthode proposée a démontré son potentiel d'intégration dans des phases de conception préliminaire.

#### MOTS CLES

Aérodynamique, lanceur réutilisable, flux de chaleur, écoulement hypersonique, modèle de substitution, réseaux de neurones, Krigeage, Machine Learning

