

## PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DTIS-2021-15**  
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Palaiseau

Département/Dir./Serv. : DTIS/M2CI

Tél. : 01.80.38.66.88  
01.80.38.66.08

Responsable(s) du stage : Loïc Brevault  
Mathieu Balesdent

Email. : loic.brevault@onera.fr  
mathieu.balesdent@onera.fr

### DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Conception et optimisation des systèmes

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

#### **Intitulé : Approches basées sur le machine learning pour la multi-fidélité et la propagation d'incertitudes, application à la conception de véhicules aérospatiaux**

Sujet : Les processus de conception de véhicules aérospatiaux (e.g., avion supersonique, lanceur réutilisable, aile volante) peuvent permettre de prendre en compte de manière précise les incertitudes (e.g., méconnaissances de modélisation, variabilités environnementales) directement dans la démarche de conception. Ceci rend possible l'estimation de l'impact de ces incertitudes sur les performances des concepts (e.g., consommation, distance franchissable). Une des étapes clés de cette démarche relève de l'utilisation de méthodes de propagation d'incertitudes. Ces méthodes étant souvent très gourmandes en temps de calculs, un axe de recherche actif consiste à développer des approches à coût de calculs maîtrisés. Les méthodes classiquement utilisées pour la propagation d'incertitudes sont efficaces lorsque les variables d'intérêt portent sur une grandeur scalaire (par exemple coefficients de portance et de traînée). Dans le cadre des véhicules aérospatiaux, certaines des grandeurs d'intérêt (température, pression) ne sont pas scalaires mais sont réparties tout le long du véhicule (sur les points d'un maillage). Etre capable d'avoir des indicateurs d'incertitudes du champ est une information précieuse pour le dimensionnement des véhicules aérospatiaux. On peut par exemple penser à la détermination de quantile de flux de pression ou de température le long de paroi permettant ainsi de concevoir de manière plus efficace les dispositifs de protection thermique d'un lanceur réutilisable. Dans le cadre spécifique où les grandeurs d'intérêts sont des champs, la propagation d'incertitudes devient plus complexe due à la dimensionnalité du problème (champs aléatoire sur un maillage) et de nombreux verrous restent encore à lever.

Lors de ce stage, une des approches envisagées consiste à développer des méthodologies reposant sur le machine learning, des techniques de réduction de modèle [4] et l'utilisation de modèle de substitution (e.g., chaos polynomiaux [5,6], processus gaussien [7]). La propagation d'incertitudes requiert néanmoins une quantité de données très importante (génération de champs pour de nombreuses conditions d'entrée) qui est bien souvent impossible à obtenir en pratique pour les applications considérées (à cause du coût de calcul), ce qui en fait problème encore ouvert.

D'autre part, pour maîtriser les temps de calcul des processus de conception, les ingénieurs sont souvent amenés à choisir parmi différentes modélisations des phénomènes en jeu vis-à-vis d'un compromis entre coût de calcul et précision du modèle (fidélités). Ainsi, un modèle basse fidélité aura un coût de calcul faible mais une précision limitée, alors qu'un modèle haute-fidélité sera très précis mais très coûteux à évaluer. Un domaine de recherche actif consiste à développer des approches permettant d'aggréger ces différentes fidélités. On se propose, à travers ce stage, de développer des approches de propagation d'incertitudes sur champs reposant sur des techniques d'intelligence artificielle et de multi-fidélité [7,8].

Dans la suite de travaux précédemment menés à l'ONERA [1,2,3], il s'agira d'identifier dans la littérature, les techniques de propagation d'incertitudes sur champ les plus pertinentes vis-à-vis de la nouvelle problématique de la multi-fidélité. L'objectif sera alors de définir une méthodologie utilisant le machine learning pour la création d'un modèle de substitution multi-fidélité pour la propagation d'incertitudes sur un

champ.

Pour ce faire, le stage se déroulera de la manière suivante :

- Etat de l'art sur les techniques de propagation d'incertitudes sur champ et l'utilisation du machine learning pour une application en multi-fidélité,
- Développement d'une stratégie multi-fidélité dédiée à la propagation d'incertitudes sur champ,
- Implémentation des processus élaborés dans un cas de conception de lanceur réutilisable.

Références :

[1] Brevault, L. (2015). Contributions to multidisciplinary design optimization under uncertainty, application to launch vehicle design (Doctoral dissertation).

[2] L. Brevault, M. Balesdent et J. Morio (2020) Aerospace System Analysis and Optimization in Uncertainty, Springer Nature Switzerland AG, ISBN : 978-3-030-39125-6

[3] Balesdent, M., Brevault, L., Price, N. B., Defoort, S., Le Riche, R., Kim, N. H., ... & Bérend, N. (2016). Advanced space vehicle design taking into account multidisciplinary couplings and mixed epistemic/aleatory uncertainties. In Space Engineering (pp. 1-48). Springer, Cham.

[4] Ghanem, R. G., & Spanos, P. D. (2003). Stochastic finite elements: a spectral approach. Courier Corporation.

[5] Blatman, G., & Sudret, B. (2011). Adaptive sparse polynomial chaos expansion based on least angle regression. Journal of computational Physics, 230(6), 2345-2367.

[6] Eldred, M. (2009, May). Recent advances in non-intrusive polynomial chaos and stochastic collocation methods for uncertainty analysis and design. In 50th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference.

[7] Parussini, L., Venturi, D., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E. (2017). Multi-fidelity Gaussian process regression for prediction of random fields. Journal of Computational Physics, 336, 36-50.

[8] Ghosh Dastidar, S., Faes, M., & Moens, D. (2018). A twin-mesh approach for random field analysis in high-dimensional dynamic models. In Proceedings of International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics (pp. 5111-5123). KU Leuven.

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

**Méthodes à mettre en oeuvre :**

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Recherche théorique            | <input 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 : **Oui**

**Durée du stage :** Minimum : 4 mois Maximum : 6 mois

Période souhaitée : Février - Août

### PROFIL DU STAGIAIRE

|   |   |
|---|---|
| Connaissances et niveau requis :<br>Mathématiques appliquées, modèle de substitution, incertitudes, optimisation<br>Des connaissances en Python et dans la conception de véhicules aérospatiaux seraient un plus. | Ecoles ou établissements souhaités :<br>3ème année Ecole d'Ingénieur généraliste ou option aéronautique/spatial, ou M2R |
|---|---|