

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Approches basées sur la multi-fidélité pour la propagation d'incertitudes sur maillage, application à la conception de véhicules aérospatiaux

Référence : **SNA-DTIS-2022-10**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse :

Date limite de candidature :

Mots clés

Propagation d'incertitudes, champ aléatoire, multi-fidélité, machine learning, véhicules aérospatiaux

Profil et compétences recherchées

Diplômé d'école d'Ingénieur généraliste ou option aéronautique/spatial, ou M2R

Mathématiques appliquées, modèle de substitution, incertitudes, optimisation

Des connaissances en Python et dans la conception de véhicules aérospatiaux seraient un plus.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

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 (Fig. 1), 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).

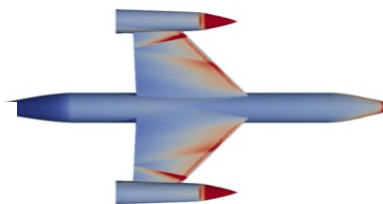


Figure 1 : champ de pression sur une configuration de lanceur réutilisable (projet HERACLES)

Etre capable d'avoir des indicateurs d'incertitudes de champ est une information précieuse pour le dimensionnement des véhicules. On peut par exemple penser à la détermination de quantile de flux thermiques ou de température le long de paroi permettant ainsi de concevoir de manière plus efficace les dispositifs de protection thermique pour 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. Les pistes investiguées nécessitent de coupler les techniques de réduction de modèle (e.g. décomposition de Karhunen-Loeve [4]) et l'utilisation de modèles de substitution (e.g. chaos polynomiaux [5,6], processus Gaussien [7]). La propagation d'incertitudes nécessite 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.

On se propose ici, à travers cette thèse, de développer des approches de propagation d'incertitudes sur champs reposant sur des techniques multi-fidélité [11], permettant d'agréger différents modèles de différentes fidélités (et différents coûts de calculs et précisions associées). Ainsi, dans le domaine de l'aérodynamique externe, l'utilisation complémentaire de méthodes Newtoniennes (basse fidélité), de calculs CFD Euler (moyenne fidélité) et de calculs RANS (haute fidélité) permettrait de réduire les coûts de calculs associés à une propagation d'incertitudes sur champ. Récemment, dans la littérature [7,8,9,10], des approches combinant réduction de modèle (Rank revealing QR decomposition, Karhunen-Loeve) et modèle de substitution multi-fidélité (processus Gaussien) ont été proposées, mais sans approfondissement d'une stratégie de maîtrise de l'erreur du modèle multi-fidélité pour des problématiques de propagation d'incertitudes.

Aussi, un des enjeux non abordés dans la littérature consiste à définir des méthodologies dites « *active learning* », c'est-à-dire adaptatives pour raffiner le modèle multi-fidélité du champ aléatoire permettant de contrôler la précision de ce modèle à des coûts de calculs maîtrisés. Dans la suite de travaux précédemment menés à l'ONERA [1,2,3], il s'agira d'identifier dans la littérature, les techniques de réduction de modèle et de modélisation multi-fidélité dans le contexte de la propagation d'incertitudes sur champ aléatoire. Un des aspects important portera sur le développement d'une stratégie pour estimer l'erreur du modèle développé. Par ailleurs, il sera nécessaire de quantifier l'incertitude engendrée par l'utilisation de modèles basses fidélités et de développer des critères permettant d'identifier quelle fidélité de modèle doit être évaluée et pour quelle valeur des paramètres incertains en entrée.

Pour ce faire, la thèse se déroulera de la manière suivante :

- Etat de l'art sur les techniques de propagation d'incertitudes sur champ, l'utilisation de méthode de réduction de modèle et leur application en multi-fidélité,
- Développement d'une stratégie « *active learning* » de raffinement adaptatif d'un modèle multi-fidélité dédié à la propagation d'incertitudes sur champ,
- Implémentation des processus élaborés dans différents cas de conception aérospatial.

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] Sudret, Bruno, and Armen Der Kiureghian. *Stochastic finite element methods and reliability: a state-of-the-art report*. Berkeley, CA: Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, 2000.
- [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.
- [9] Kast, Mariella, Mengwu Guo, and Jan S. Hesthaven. "A non-intrusive multifidelity method for the reduced order modeling of nonlinear problems." *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 364 (2020): 112947.

[10] Skinner, Ryan W., et al. "Reduced-basis multifidelity approach for efficient parametric study of NACA airfoils." *AIAA Journal* 57.4 (2019): 1481-1491.
[11] Abdallah, Imad, Christos Lataniotis, and Bruno Sudret. "Parametric hierarchical kriging for multi-fidelity aero-servo-elastic simulators—Application to extreme loads on wind turbines." *Probabilistic Engineering Mechanics* 55 (2019): 67-77.

Collaborations envisagées

DGA, CNRS, Ecole Polytechnique de Zurich

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Traitement de l'information et Systèmes

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

Contact : L. Brevault, M. Balesdent

Tél. : 01.80.38.66.88/ 01.80.38.66.08

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

Directeur de thèse

Nom : R. Le Riche, B. Sudret

Laboratoire : CNRS, ETH

Tél. :

Email :

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