

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Estimation de probabilité d'évènements rares d'un système complexe paramétrique. Application à l'étude des performances opérationnelles d'un avion

Référence : **TIS-DTIS-2019-18**
(à rappeler dans toute correspondance)

Laboratoire d'accueil à l'ONERA :

Domaine : Traitement de l'information et systèmes Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Département : Département Traitement de l'information et systèmes

Unité : RIME/M2CI Tél. : 05.62.25.27.55

Responsable ONERA : Sylvain Dubreuil Email : Sylvain.Dubreuil@onera.fr

Directeur de thèse envisagé :

Nom : Jérôme Morio

Adresse : ONERA Toulouse, 2 Avenue Edouard Belin, 31000 Toulouse

Tél. : 05.62.25.26.63 Email : jerome.morio@onera.fr

Sujet : De nombreux systèmes physiques sont schématiquement décrits par une relation du type $Y = \phi(X)$, où l'entrée X est supposée aléatoire et où la sortie Y est déterminée via la fonction déterministe ϕ . Un exemple proéminent d'application est l'analyse d'un code de calcul boîte noire : ϕ représente alors un code de calcul, tel que des calculs de contraintes sur des structures mécaniques complexes et X les conditions extérieures dans lesquelles ce calcul est effectué. On peut notamment penser à un code de type éléments finis, dont la complexité rend impossible toute étude analytique de la fonction ϕ et donc de la sortie Y .

L'analyse de fiabilité consiste à estimer la probabilité de défaillance P_f du système étudié. Dans un cadre probabiliste, cette estimation est aujourd'hui globalement bien maîtrisée et il existe de nombreuses méthodes permettant de résoudre ce problème (Méthodes Monte-Carlo, échantillonnage préférentiel [1], subset simulation [2]). Le sujet proposé dépasse ce cadre « classique » pour s'intéresser à des systèmes ϕ paramétrés par un ensemble de paramètres $s \in S$ [3]. Ces paramètres ne sont pas nécessairement incertains et représentent, par exemple, le temps, un domaine spatial, des conditions d'utilisation, des paramètres de conception etc. Les variables incertaines X peuvent alors être indépendantes du paramètre s ou bien dépendantes de s et dans ce cas, elles seront modélisées par des champs aléatoires sur S . Le but de la thèse est d'estimer la « cartographie » de la probabilité de défaillance i.e. $P_f(s) \forall s \in S$ à moindre coût de calcul. En effet, le cadre du sujet exclut, pour des raisons de coût numérique, la mise en œuvre d'une approche classique en chaque point du domaine S .

Le premier objectif de la thèse sera donc d'étudier les possibilités d'adaptation des méthodes de simulation par échantillonnage préférentiel au cadre de l'estimation d'une probabilité de défaillance dépendant de paramètres [4]. L'idée de l'échantillonnage préférentiel est de construire une densité auxiliaire permettant d'obtenir une estimation de P_f ayant une variance plus faible que l'estimateur de Monte-Carlo classique pour un nombre de simulations fixé. Cette approche est retenue en s'appuyant sur plusieurs études montrant un bon compromis entre temps de calcul et précision de l'estimation obtenue dans le cadre classique (probabilité de défaillance ne dépendant pas de paramètre). Il s'agira donc de développer une méthode de construction de la densité auxiliaire adaptée non plus à une variable aléatoire mais à un champ aléatoire sur le domaine paramétrique S .

La discrétisation de ce champ aléatoire et son interpolation sur le domaine paramétrique constitueront le cœur de l'aspect méthodologique de la thèse. Pour cela on s'appuiera sur des outils de décomposition de champs aléatoires tels que la décomposition de Karhunen-Loève et/ou sur des outils d'interpolation tels que l'interpolation par processus gaussien.

Le second objectif de la thèse sera de tirer profit de la cartographie obtenue et de l'approche développée pour étudier les performances opérationnelles d'un aéronef (l'espace paramétrique modélisant les conditions d'opération). Des applications telles que la détermination de zones critiques, l'identification de « chemins » critiques dans l'espace paramétrique ou encore l'optimisation fiabiliste d'un tel système pourront être envisagées.

Une première étape de la thèse sera constituée d'une revue bibliographique sur la fiabilité de systèmes complexes paramétriques. D'ailleurs, un stage de projet de fin d'étude de niveau master 2 commencera en avril 2018 sur un sujet proche et pourra servir de base de départ à cette thèse. Proposer un couplage innovant entre méthodes d'échantillonnage et techniques de décomposition de champs aléatoires sera le point prioritaire à traiter. Dans un second temps, le doctorant cherchera à évaluer la pertinence de ce couplage sur le plan théorique (convergence,...) et en simulation. Une comparaison avec des approches existantes sera également nécessaire.

[1] J. A. Bucklew. Introduction to rare event simulation. Springer Series in Statistics. Springer-Verlag, New York, 2004.

[2] F. Cérou, P. Del Moral, T. Furon, and A. Guyader. Sequential Monte Carlo for Rare Event Estimation, *Statistics and Computing*, 22(3):795-808, 2012.

[3] C. Vergé, J. Morio and P. Del Moral. An island particle algorithm for rare event analysis, *Reliability Engineering & System Safety* 149, 63-75, 2016

[4] D. Y. Yang, J. G. Teng, D. M. Frangopol, Cross-entropy-based adaptive importance sampling for time-dependent reliability analysis of deteriorating structures. *Structural Safety* 66, 38-50, 2017

Collaborations extérieures : ISAE

PROFIL DU CANDIDAT

Formation : 3ème année Ecole d'Ingénieur généraliste, ou M2R

Spécificités souhaitées : Mathématiques appliquées, probabilités / statistiques