Propagation d'incertitude de modèle pour l'optimisation multidisciplinaire

<u>**Sylvain DUBREUIL**</u>, Onera-The French Aerospace Lab

Nathalie BARTOLI, Onera-The French Aerospace Lab

Thierry LEFEBVRE, Onera-The French Aerospace Lab

Christian GOGU, Université de Toulouse

L'évaluation et l'optimisation d'un nouveau concept d'aéronef nécessite la mise en place de processus couplant les différentes disciplines physiques (aérodynamique, structure, propulsion, système etc.) modélisant son comportement. Chaque discipline est représentée par un modèle numérique (modéle empirique, éléments finis, CFD, etc.). L'analyse multidisciplinaire consiste à résoudre le système non linéaire formé par les différents solveurs disciplinaires. En notant y_i la rponse de la discipline i et f_i son solveur, l'analyse multidisciplinaire impliquant n_d disciplines peut s'écrire, $y_i = f_i(y_{c^i}),\ i = 1, \cdots, n_d$ avec y_{c^i} les *variables de couplage* de la discipline i, *i.e* $y_{c^i} \subset \{y_i, i = 1, \cdots, n_d\}$.
Si l'on s'intéresse maintenant à l'optimisation d'un concept, l'approche la plus simple à mettre en oeuvre consiste à résoudre l'analyse multidisciplinaire pour chaque point proposé par l'optimiseur (*MultiDisciplinary Feasible, MDF*). En notant $z \in S \subset \mathbb{R}^n$ les variables de conception et y_{obj} la fonction objectif, le problème d'optimisation à résoudre est, $\min_{z\in S} y_{obj}(z, y)$ où $y = \{y_i, i = 1, \cdots, n_d\}$ est solution de l'analyse multidisciplinaire. Lorsque les solveurs disciplinaires f_i sont numériquement coûteux à évaluer, la résolution de ce problème d'optimisation devient prohibitive voir impossible.
Afin de palier à ce problème nous proposons de remplacer chaque solveur disciplinaire par un méta-modèle de krigeage (processus gaussien), construit en échantillonnant le solveur f_i sur $S \times C_i$ (avec C_i l'ensemble de définition de y_{c^i}). La solution du système multidisciplinaire, en un point $z^{(0)} \in S$, est donc le vecteur aléatoire $Y(z^{(0)}) = \{Y_i, i = 1, \cdots, n_d\}$ dont la loi est la nouvelle inconnue du problème. Dans [1], nous avons proposé d'approcher la solution $Y(z^{(0)})$ par son développement sur le chaos polynomial d'Hermite. Pour cela, nous approximons chaque variable aléatoire $Y_i(z^{(i)})$ par son développement polynomial $\hat{Y}_i(z^{(i)})$, la résolution de l'analyse multidisciplinaire (point fixe sur les coefficients des développements polynomiaux) conduit alors à l'approximation $\hat{Y}(z^{(0)})$.
Ainsi, en prenant en compte l'incertitude introduite par l'utilisation des méta-modèles de krigeage dans l'analyse multidisciplinaire, la fonction objective peut être vue comme un champ aléatoire sur l'espace de conception S. Nous sommes en particulier intéressés par les valeurs extrêmes de ce champ *i.e.* la variable aléatoire $Y_{min} = \min_{z\in S} Y_{obj}(z, Y_i, i = 1, \cdots, n_d)$ qui modélise la valeur aléatoire du minimum et $Z^\star = \arg\min_{z\in S} Y_{obj}(z, Y_i, i = 1, \cdots, n_d)$ qui modélise sa position. Afin d'approximer ces 2 variables aléatoires nous avons proposé [2] une méthode originale de discrétisation et de représentation du champ aléatoire $Y_{obj}(z, Y_i, i = 1, \cdots, n_d)$ basée sur un couplage entre chaos polynomial et interpolation par krigeage. Cette approche permet une discrétisation adaptative du champ aléatoire (sélection itérative des points $z^{(k)}$ où la propagation d'incertitude par chaos polynomial doit être effectuée) dans les zones de l'espace de conception S où la probabilité d'atteindre le minimum est importante (un critère de type *amélioration espérée* est proposé dans [2]).
Enfin, un processus d'optimisation par enrichissement des méta-modèles disciplinaires est mis en place à l'aide du critère de discrétisation. L'objectif de cet enrichissement est de *réduire* itérativement la dispersion des variables aléatoires Y_{min} et $Z^\star$. Lorsque celle-ci est *suffisamment* faible, la solution du problème d'optimisation déterministe est approchée par $E[Y_{min}]$ et $E[Z^\star]$.

Références

[1] S. Dubreuil, N. Bartoli, C. Gogu, T. Lefebvre, *Propagation of Modeling uncertainty by Polynomial Chaos Expansion in Muldisciplinary Analysis*, Journal of Mechanical Design, 111411-11, 2016.

[2] S. Dubreuil, N. Bartoli, C. Gogu, T. Lefebvre, J. Mas Colomer, *Extreme value oriented random field discretization based on an hybrid polynomial chaos expansion - Kriging approach*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 540-571, 2018.

Sylvain DUBREUIL, Onera-The French Aerospace Lab, Toulouse, F-31055, France
sylvain.dubreuil@onera.fr