

## SUJET DE THESE

### ***Champs gaussiens non-stationnaires et ondelettes pour la planification d'expériences en quantification des incertitudes***

Contact : [jean.baccou@irsn.fr](mailto:jean.baccou@irsn.fr)

#### **Contexte et motivation :**

La **quantification des incertitudes** est un enjeu de société majeur concernant aussi bien le monde économique, la modélisation des processus naturels, que l'industrie et en particulier la production d'énergie. Dans le domaine de la sûreté nucléaire où le recours à l'expérience physique est souvent inenvisageable, les systèmes complexes sont typiquement modélisés par simulation numérique. Schématiquement, les études de quantification des incertitudes consistent alors à propager, via un simulateur, les incertitudes concernant des variables d'entrée (variables non-contrôlées, aléas naturels, tolérances géométriques, etc.) sur des sorties d'intérêt, telles que des grandeurs physiques décrivant l'état d'un réacteur nucléaire. Or, il se pose en pratique le problème que le temps nécessaire pour l'exécution de chaque simulation haute-fidélité limite le nombre de scénarios sur les entrées pour lesquels la réponse pourra être calculée, pouvant mener à des incertitudes mal quantifiées, voire à négliger des risques cruciaux.

Le sujet de thèse s'inscrit dans la thématique du **machine learning**, un domaine de recherche très vivant à la croisée entre mathématiques, statistiques, et informatique appliquées. Une idée centrale de l'apprentissage statistique pour les expériences numériques est de construire un modèle mathématique (ou « métamodèle ») du simulateur en se basant sur les résultats de simulations déjà disponibles et de se servir de ce **métamodèle** pour explorer au mieux l'espace des variables d'entrée lors des prochaines simulations. L'IRSN utilise et participe déjà au développement de méthodes de planification adaptative d'expériences numériques assistée par « métamodèles » et en particulier par des métamodèles probabilistes (de type « Krigeage ») empruntant à la théorie des **champs aléatoires gaussiens**. Plusieurs stratégies d'évaluation de simulateurs numériques reposant sur les champs gaussiens ont fait leurs preuves dans des contextes tels que l'optimisation globale et/ou l'exploration de zones d'intérêt. Toutefois, l'hypothèse de stationnarité souvent faite par défaut est peu adaptée pour approcher des fonctions dont les variations sont fortement hétérogènes d'une région à l'autre de l'espace des entrées.

Le but de cette thèse est de développer de **nouvelles méthodes pour la planification adaptative en contexte non-stationnaire**, en tirant à la fois partie des approches séquentielles sur base de champs gaussiens, mais aussi des approches multi-échelles de type **ondelettes**, permettant de modéliser finement les non-stationnarités. La/le doctorant(e) aura pour mission d'étudier et de développer des approches mêlant ondelettes et champs gaussiens, avec applications en quantification d'incertitudes. En particulier, une première piste (dans un cadre non-adaptatif) pourra être d'utiliser au mieux une segmentation à base d'ondelettes pour construire un noyau de covariance tenant compte du caractère multi-échelles d'un signal. Dans un second temps, une étude approfondie des noyaux définis à base

d'ondelettes permettra de passer à la planification adaptative, pour laquelle des critères d'échantillonnage ad hoc pour la quantification d'incertitudes pourront être définis et étudiés.

## Profil du candidat:

Elle/il a une formation de grande école d'ingénieur et/ou un master universitaire en mathématiques, mathématiques appliquées, statistiques ou disciplines connexes avec une grande motivation pour la modélisation mathématique, le goût du travail en équipe et des problématiques multidisciplinaires. Une certaine aisance dans l'implémentation informatique (expérience de projets d'étude avec des langages tels que R, Matlab, Java ou C/C++) et dans la familiarisation avec de nouveaux environnements sera un plus.

## Déroulement:

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du [consortium ReDICE](#) qui réunit partenaires industriels (EDF, Renault, IFP, CEA, IRSN) et académiques (Mines de St Etienne, Centrale Lyon, Université de Berne) autour de méthodes innovantes pour l'étude des expériences numériques. La/le doctorant(e) bénéficiera de l'appui de l'Ecole Centrale Marseille (Prof. Jacques Liandrat) et de l'Université de Berne (Dr. David Ginsbourger). En particulier, une co-tutelle entre ces deux organismes est prévue, impliquant des séjours de recherche réguliers, voire un séjour d'une année à Berne (Suisse). Elle/Il aura également des interactions avec les membres du consortium ReDICE spécialistes de l'exploration des codes de calcul complexes. Une fois que l'avancement le permettra, la/le doctorant(e) appliquera les méthodes développées à des cas synthétiques ainsi qu'à des cas réels issus des activités en mécanique du laboratoire commun IRSN-CNRS-UM2 MIST. Les algorithmes de planification pourront notamment être utilisés pour des études de fissuration des gaines de combustible à l'aide du logiciel Xper.

## Bibliographie

- [1] C.E. Rasmussen and C.K.I. Williams, [Gaussian Processes for Machine Learning](#), The MIT Press, 2006.
- [2] E. Chojnacki, J. Baccou et S. Destercke, *Numerical accuracy and efficiency in the treatment of epistemic and aleatory uncertainty*, International J. of General Systems, 39(7), 683-704, 2010.
- [3] V. Picheny, D. Ginsbourger, O. Roustant, R.T. Haftka, *Adaptive designs of experiments for accurate approximation of a target region*, J. Mech. Des., 132(7), 2010.
- [4] I. Daubechies, *Ten lectures on wavelets*, SIAM, 1992
- [5] Y. Xiong, W. Chen, D. Apley et X. Ding, *A non-stationary covariance-based Kriging method for metamodelling in engineering design*, Int. J. for Num. Meth. in Engineering, 71, 733-756, 2007.
- [6] D.J.J. Toal and A.J. Keane, *Non-Stationary Kriging for Design Optimization*, Engineering Optimization, 44(6), 741-765.
- [7] S. Ba and V. Roshan Joseph, *Composite Gaussian Process Models for Emulating Expensive Functions*, Annals of Applied Statistics 6(4), 1838-1860, 2012.
- [8] *tgpr: An R Package for Bayesian Nonstationary, Semiparametric Nonlinear Regression and Design by Treed Gaussian Process Models*, J. of Statistical Software, 19(9), 2007.
- [9] D. Castano et A. Kunoth, *Robust regression of scattered data with adaptive Spline-Wavelets*, IEEE Trans. Imag. Proc., 15 (6), 1621-1632, 2006.
- [10] F. Perales, F. Dubois, Y. Monerie, B. Piar, L. Stainier, *A NonSmooth Contact Dynamics-based multi-domain solver. Code coupling (Xper) and application to fracture*, Eur. J. Comp. Mech. 19, 389-417, 2010.