

## Planification d'expériences numériques pour la reconstruction de données non stationnaires : applications à la prise en compte des incertitudes dans les études de fissuration mécanique

J. Baccou, F. Perales, Y. Monerie  
Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire,  
Centre de Cadarache, 13115 Saint Paul-Lez-Durance, France  
[jean.baccou@irsn.fr](mailto:jean.baccou@irsn.fr)

D. Ginsbourger, C. Chevalier  
IMSV, Dép. de Mathématiques et de Statistiques,  
Alpeneggstrasse 22, 3012 Berne, Suisse

Mots-clés : analyse de risque, géostatistique, plan d'expériences, ondelettes, micromécanique

Dans le cadre de la sûreté des réacteurs nucléaires, le laboratoire de Micromécanique et Intégrité des Structures (MIST, Laboratoire Commun IRSN/CNRS UMR5508/UM2) a développé une approche micromécanique pour l'analyse de la tenue des structures hétérogènes (Xper [1]). Cette approche permet notamment de prédire des grandeurs macroscopiques de résistance à la rupture à partir de données microscopiques (ténacité des différentes phases, densité de défauts, ...).

En pratique, ces données microscopiques ne sont pas connues précisément. On parle alors de grandeurs incertaines. L'impact de ces incertitudes sur les évaluations numériques doit être estimé avec précision. Dans ces analyses d'incertitudes les techniques de type Monte Carlo sont très souvent utilisées : chaque grandeur d'entrée incertaine est considérée comme une variable aléatoire propagée à travers le code de calcul par simulations numériques pour aboutir à des plages d'incertitudes macroscopiques. Cette propagation d'incertitudes peut devenir numériquement coûteuse, un très grand nombre de simulations étant requis. Afin de réduire le coût de calcul, des approches statistiques basées sur la théorie des plans d'expériences [2] sont utilisées. Il existe deux grandes stratégies pour construire un plan d'expériences : la première s'appuie sur des considérations géométriques dans l'espace des entrées et conduit à des plans qui fournissent une bonne couverture de l'espace de variation des données d'entrée incertaines. La seconde suppose que la relation entre la sortie et les entrées du code de calcul peut être approchée par un modèle simplifié et consiste à choisir les expériences de façon à optimiser une fonction coût qui traduit la qualité d'approximation du modèle. Il est alors possible de raffiner automatiquement le plan d'expériences dans des zones pertinentes pour l'analyse. Cette seconde approche - quand l'approximation se base sur la théorie du krigeage [3] - a conduit à des résultats prometteurs pour la prise en compte des incertitudes dans les études de fissuration des gaines de combustible dans un réacteur nucléaire [4]. Cependant, l'approximation par krigeage que l'on fixe avant de faire la planification suppose le plus souvent que les données sont stationnaires, ce qui est rarement le cas en pratique. Cela nécessite alors de définir plusieurs fonctions coûts ainsi qu'une règle pour les agréger.

**Afin d'éviter des choix arbitraires, ce stage est donc dédié au développement de nouvelles techniques de planification basée sur une unique fonction coût suffisamment générique pour capturer toutes les caractéristiques d'intérêt de données non stationnaires. Pour cela, on s'appuiera sur une modélisation à l'aide de covariances non-stationnaires [5] et sur le couplage entre krigeage et algorithmes de segmentation de données en ondelettes [6].**

Le travail demandé dans le cadre de ce stage se situe au carrefour entre la physique, les statistiques et l'informatique. Il comprendra

- 1) Une étude bibliographique sur les techniques géostatistiques de krigeage, de planification d'expériences ainsi que de modélisation à l'aide de covariances non stationnaires.
- 2) L'écriture et l'implémentation d'un critère d'adaptation pour la fissuration des matériaux hétérogènes.
- 3) L'obtention avec le logiciel Xper des données tests de simulation pour la validation du nouvel algorithme de planification.

Les développements informatiques seront réalisés avec le logiciel R.

Afin d'améliorer et de généraliser ce type de techniques pour répondre à des besoins plus larges (vieillesse des centrales, surveillance de l'environnement), il est envisagé de poursuivre ce travail de stage dans le cadre d'une thèse.

Spécialité : statistiques, traitement du signal

Durée du stage : 6 mois.

Lieu : Cadarache

Stage rémunéré : oui

REFERENCES :

- [1] 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.
- [2] G. Box et N. Draper, *Empirical model-building and response surfaces*, Wiley series in probability and mathematical statistics, 1987.
- [3] N. Cressie. *Statistics for spatial data*, Wiley series in probability and mathematical statistics, 1993.
- [4] T. Mokhtari, *Planification adaptative d'expériences numériques*, Rapport TFE, ENSMSE, 2012.
- [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] I. Daubechies, *Ten lectures on wavelets*, SIAM, 1992.