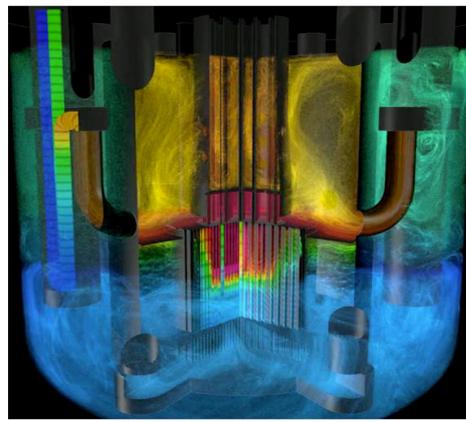


## **Méthodes d'optimisation multicritères par processus gaussiens Application aux cœurs de réacteurs nucléaires de 4<sup>ème</sup> génération.**

Les études de conception de systèmes complexes par simulation numérique nécessitent des méthodes d'optimisation multicritères sous contraintes et où la représentation du système comporte des incertitudes. On étudiera les méthodes d'optimisation par processus gaussiens adaptées à une recherche globale et à la réduction du nombre d'expériences numériques. L'approche permet de gérer efficacement le compromis entre l'exploitation des zones de l'espace de recherche suffisamment connues et celles où l'exploration doit être poursuivie. De plus cette stratégie permet d'aborder les problèmes d'optimisation à grande dimension tout en exploitant les capacités du calcul parallèle (HPC).



Leur validation portera sur l'optimisation du refroidissement du cœur d'un réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium. Les simulations seront réalisées à l'aide de l'application TRIO\_U-MC.

### **Objectifs de la thèse**

Les approches d'optimisation par processus gaussiens ont donné lieu aux méthodologies EGO (Efficient Global Optimisation) [1]. Pour réduire les coûts de calcul, leur stratégie est basée sur des solutions potentielles prédites par un processus gaussien (en lieu et place du code de calcul). Ces solutions sont ensuite analysées afin de déterminer les zones les plus probables contenant l'optimum. Cette méthodologie a été appliquée à des problèmes industriels comme par exemple la conception de véhicule sur les critères et contraintes de crash tests [2].

Plus récemment des méthodes issues de l'apprentissage statistique (Machine Learning) ont reconsidéré les heuristiques pour spécifier plus efficacement les zones de l'espace de recherche à explorer. Dans ce contexte, on étudiera plus particulièrement les méthodes de type GP-UCB acronyme de Gaussian Process Upper Confidence Bound [3, 4]. Elles sont proposées dans un cadre probabiliste rigoureux. Elles permettent de gérer efficacement le compromis exploitation/exploration. D'autre part, elles se prêtent bien à une gestion parallèle des calculs sans complexifier leur spécification. On étudiera plus particulièrement les méthodes GP-MI basées sur l'information mutuelle [5]. Elles permettent d'améliorer considérablement les vitesses de convergence ce qui est une exigence dans les études où le nombre de simulations est limité. De plus,

on se propose d'étendre ces méthodes au cas multicritères avec contraintes. Le cas de la grande dimension pourrait être traité en utilisant les méta-modèles à base de noyaux (RKHS) afin de pallier les problèmes soulevés par l'estimation des hyper-paramètres du noyau de la fonction covariance.

L'application qui permettra de valider les stratégies, portera sur l'optimisation du refroidissement du cœur d'un réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium (RNR-Na), tel le projet ASTRID. Le cœur d'ASTRID est formé par la juxtaposition d'un nombre important d'assemblages (quelques centaines) dont chacun reçoit une puissance différente (de 4 à 6 mégawatts). Pour assurer un refroidissement homogène de l'ensemble du cœur, il serait ainsi nécessaire de fournir à chaque assemblage un débit de sodium spécifique correspondant à la puissance reçue par celui-ci. Pour des raisons pratiques liées à la fabrication et à la manutention des assemblages, cette option n'est pas envisageable; le choix retenu est de répartir les assemblages parmi un nombre réduit de "zones de débit" (au plus 10), tous les assemblages d'une même zone recevant un débit de sodium identique. Le choix du nombre de zones et de la répartition des assemblages dans celles-ci constitue un problème d'optimisation à grand espace de paramètres, auquel on se propose d'appliquer les méthodes développées dans la première partie de la thèse. Cette optimisation pourra être effectuée vis-à-vis d'un certain nombre de critères (minimisation du débit total nécessaire, élimination des points chauds dans le cœur, etc.).

### Compétences requises

- Mathématiques appliquées : probabilité, statistiques, méthodes numériques d'optimisation
- Langage de programmation : Scilab, R
- Bon niveau en anglais

### Références

1. Donald R. Jones, Matthias Schnolau, William J. Welch, Efficient Global Optimization of Expensive Black-Box Functions, *Journal of Global Optimization*, 13:455-492, 1998
2. K. Hamza, M. Shalby, A framework for parallelized efficient global optimization with application to vehicle crashworthiness optimization, *Engineering optimization*, Vol. 46, Issue 9, 2014.
3. Srinivas, Krause, Kakade and Seeger, Information - Theoretic Regret Bounds for Gaussian Process Optimization in the bandit Setting, *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 58, NO 5, May 2012
4. Parallel Gaussian Process Optimization with Upper Confidence Bound and Pure Exploration, arXiv:1304.5350, (submitted ECML)
5. E. Contal, V. Perchet, N. Vayatis, Gaussian Process Optimization with Mutual Information, arXiv:1311.4825, (submitted ICML)

### Contacts :

Jean-Marc MARTINEZ : [jean-marc.martinez@cea.fr](mailto:jean-marc.martinez@cea.fr)

Antoine GERSCHENFELD : [antoine.gerschenfeld@cea.fr](mailto:antoine.gerschenfeld@cea.fr)