

Éditorial du numéro spécial : expériences numériques, analyse d'incertitude et de sensibilité

Title: Editorial of the special issue: Computer Experiments, Uncertainty and Sensitivity Analysis

Alberto Pasanisi¹, Pierre Barbillon², Bertrand Iooss³ et Hervé Monod⁴

La simulation numérique a gagné une place croissante au cours des dernières décennies dans le travail quotidien de scientifiques et praticiens avec des domaines d'application couvrant un grand nombre de disciplines : ingénierie civile, mécanique, hydraulique et environnementale, métrologie, agronomie, finance, chimie, médecine ... en pratique, la plupart des disciplines techniques et scientifiques. Cette diffusion de la simulation numérique a été rendue possible par la disponibilité d'ordinateurs de plus en plus puissants (et de moins en moins chers) à partir des années 80 et 90. Elle a profondément changé la manière de travailler des professionnels du monde académique et industriel, leur donnant la possibilité de réaliser *in silico* des expériences qui auraient été difficiles (ou impossibles) à mettre en oeuvre *en vrai*, par exemple pour des raisons de coûts ou de sûreté.

D'autre part, des questions sont souvent soulevées sur la crédibilité des résultats et la robustesse des décisions qui en découlent. La quantification des incertitudes associées aux sorties des codes de calcul s'impose aujourd'hui comme une partie de plus en plus essentielle des études basées sur la modélisation et la simulation numérique. Elle inclut les questions strictement liées et fondamentales de la planification efficace et parcimonieuse des expériences numériques et de l'analyse de sensibilité. Basées sur des fondements bien connus (e.g. échantillonnage Monte Carlo, théorie des plans d'expériences, régression par processus gaussiens, expansion de Wiener par polynômes de chaos, décomposition de Hoeffding ...), les méthodes et outils utilisés aujourd'hui pour l'expérimentation numérique ont été et sont un sujet actif de recherche, avec une coopération fructueuse entre le monde de l'industrie et de l'entreprise et la recherche académique. En France, des groupes de travail très élargis témoignent du dynamisme et de l'effet de levier de la communauté créée autour de ces activités. Ces groupes incluent le GdR CNRS MASCOT-NUM (<http://www.gdr-mascotnum.fr>) ou le Réseau MEXICO (<http://reseau-mexico.fr/>), soutenu par l'INRA, ou le groupe thématique *Fiabilité & Incertitudes* de la Société Française de Statistique (SFdS), aussi bien que de nombreux projets publics multipartenaires de recherche ou

¹ EDF R&D - EIFER, Emmy-Noether-Str. 11, 76137 Karlsruhe, Germany.

E-mail : alberto.pasanisi@eifer.org

² UMR MIA-Paris, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, France.

E-mail : pierre.barbillon@agroparistech.fr

³ EDF R&D and Institut de Mathématiques de Toulouse. 6 quai Watier, 78401 Chatou, France.

E-mail : bertrand.iooss@edf.fr

⁴ MaIAGE, INRA, Université Paris-Saclay, 78350 Jouy-en-Josas Cedex, France

E-mail : herve.monod@inra.fr

consortiums.

Les statisticiens ont été en première ligne dans les récents progrès sur la théorie et les applications des expériences numériques, des analyses d'incertitude et de sensibilité. En effet, l'expérimentation par la simulation requiert des méthodes statistiques adaptées pour inférer proprement les propriétés détaillées des modèles sous-jacents, à partir d'un nombre relativement limité de résultats de simulations.

Ce numéro spécial est une opportunité pour présenter la riche interaction entre statistique et expérimentation numérique. Il est constitué de cinq articles, couvrant une variété de sujets relativement étendue, en termes de méthodes et d'applications ; ainsi, il pourra intéresser un public élargi de chercheurs et de praticiens.

L'article de Luc Pronzato, "*Minimax and maximin space-filling designs : some properties and methods for construction*", traite du problème crucial des plans optimaux d'expériences numériques et donne une vision très complète des propriétés et des limitations des plans maximin et minimax, avec une attention particulière à la question délicate de la dimension de l'espace des entrées. S'appuyant solidement sur une très vaste revue théorique et méthodologique, l'article donne des indications précieuses pour la construction de plans ayant de bonnes performances, dans les cas où l'optimalité ne peut pas être atteinte, en raison de la complexité du problème.

Dans l'article "*A repulsion-based method for the definition and the enrichment of optimized space filling designs in constrained input spaces*", Guillaume Perrin et Claire Cannamela s'intéressent également à la question des plans optimaux de type "space-filling" et proposent une méthode adaptée aux situations dans lesquelles l'espace des entrées n'est pas - où n'est pas transformable par bijection - un hypercube. En particulier, une généralisation du tirage par hypercube latin (LHS) optimisé est proposée dans le cas où les entrées appartiennent à un domaine convexe borné (e.g. un simplexe ou une hypersphère).

Les deux articles qui suivent sont centrés sur l'analyse de sensibilité globale.

Julien Sainte-Marie, Gautier Viaud and Paul-Henry Cournède ("*Indices de Sobol généralisés aux variables dépendantes : tests de performance de l'algorithme HOGS couplé à plusieurs estimateurs paramétriques*") considèrent le problème l'analyse de sensibilité globale pour des entrées dépendantes et en particulier l'algorithme HOGS (Hierarchically Orthogonal Gram-Schmidt) pour l'estimation des indices de Sobol généralisés. Différentes configurations de l'algorithme et différentes techniques d'estimation paramétrique sont explorées et testées sur des exemples divers, y compris un modèle numérique de croissance de plantes.

L'article de Laurent Gilquin, Thomas Capelle, Élise Arnaud et Clémentine Prieur, "*Sensitivity analysis and optimisation of a land use and transport integrated model*", est centré sur une application intéressante de l'analyse de sensibilité, utilisée ici comme une des deux étapes (associée à une optimisation itérative) de la calibration d'un modèle complexe, décrivant les interactions entre l'utilisation des sols et les transports à l'échelle régionale (famille des modèles appelés LUTI). D'après notre connaissance, les applications de ces méthodes aux modèles quantitatifs en support à la planification durable des villes et des territoires ne sont pas nombreuses, à ce jour, et cet article pourra (nous l'espérons) contribuer à créer des liens avec cette communauté en plein essor.

L'article "*Surrogate model based sequential sampling estimation of conformance probability*

for computationally expensive systems : application to fire safety science" de Séverine Demeyer, Nicolas Fischer et Damien Marquis clôt ce numéro spécial. Il présente un cadre méthodologique pour l'estimation d'une faible probabilité que la sortie d'un code de calcul dépasse un seuil fixé d'avance, en combinant planification séquentielle des expériences et métamodélisation multifidélité. La méthodologie est appliquée à un problème d'ingénierie des systèmes anti-incendie, i.e. l'évaluation de la non-conformité d'un appareil de contrôle des fumées.

Nous tenons à remercier les auteurs et les relecteurs anonymes pour leur contribution précieuse, ainsi que l'éditeur en chef, Gilles Celeux, pour son soutien et ses suggestions.

Nous vous souhaitons une agréable lecture.