

**Analyse de sensibilité de Sobol
d'un modèle à facteurs d'entrée spatialisés :**

**application à un outil d'évaluation
du risque d'inondation**

Nathalie Saint-Geours

Contexte L'UMR GEAU (Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages) développe des moyens de mieux gérer le risque d'inondation, notamment par des approches économiques de type analyse coûts-bénéfices. Dans ce cadre, un modèle d'évaluation économique de mesures de gestion du risque d'inondation a été développé et appliqué à plusieurs bassins versants : l'outil *ACBDE* (pour *Analyse Coût-Bénéfice, Dommages Evités*) [3]. Il vise à caractériser, au moyen d'un indicateur synthétique ou spatial, la pertinence économique de projets d'aménagement (barrages, digues...). L'objet du travail de thèse est d'étudier l'incertitude qui pèse sur les entrées de ce modèle, leur propagation à travers celui-ci et leur influence sur la variabilité et la validité de la sortie du modèle. L'incertitude est en effet un facteur clé pour toute modélisation, surtout lorsque les résultats de celle-ci sont utilisés pour guider ou conseiller l'action publique.

Description de la communication Le modèle *ACBDE* repose sur l'emboîtement de sous-modules de natures différentes, fortement non-linéaires (module hydrologique, hydraulique, évaluation des dommages, des coûts...), qui utilisent notamment des données cartographiques (carte d'occupation du sol, étendue des plaines d'inondation, topologie du terrain, localisation des enjeux...). Les sources d'incertitude sont nombreuses, et présentent une caractéristique commune : elles sont spatialisées. Pour traiter cette question, on peut s'appuyer sur une méthode d'analyse de sensibilité globale basée sur la variance et calculer des indices de Sobol pour chaque facteur d'entrée [6]. Cette approche est ici adaptée pour pouvoir tenir compte des facteurs d'entrée qui sont spatialisés (cartes) [5]. On se propose ici de détailler comment cette approche a été mise en œuvre sur le cas d'étude de l'outil *ACBDE* appliqué à la basse vallée de l'Orb (Hérault).

Une première étape consiste à établir une typologie des sources d'incertitude, pour ensuite les modéliser et les simuler. Des lois de distribution ont été établies pour chacun des facteurs scalaires. Pour simuler l'incertitude sur les facteurs spatialisés, on a fait appel à des techniques spécifiques :

1. *géostatistique* (simulation conditionnelle selon [2]) pour générer 100 réalisations aléatoires plausibles de Modèles Numériques de Terrain sur la zone d'étude
2. *matrice de confusion* pour décrire l'incertitude existant sur la description des enjeux exposés aux crues (représentés par des polygones avec des attributs qualitatifs sur une carte vectorielle) : 100 cartes ont été générées selon une méthode proposée par [1]

L'étape suivante de l'analyse de sensibilité est de propager ces incertitudes à travers le modèle *ACBDE* : celui-ci, peu gourmand en temps de calcul, a été évalué de nombreuses fois (70000) en faisant varier ses différentes variables d'entrée par un échantillonnage de type Monte-Carlo ($LP - \tau$). Pour inclure les facteurs spatialisés dans cet échantillonnage, chaque réalisation aléatoire du i^{eme} facteur spatialisé a été associée à une valeur d'une variable aléatoire discrète X_i qui suit une loi de probabilité discrète uniforme.

A partir du jeu de 70000 évaluations du modèle *ACBDE*, on a pu estimer des indices de Sobol (premier ordre et totaux) pour chacun des facteurs d'entrée, selon une méthode proposée par [5]. Ces indices ont permis :

- d'identifier le facteur d'entrée dont le caractère incertain a le plus fort impact sur la précision des indicateurs fournis par l'outil *ACBDE* : périodes de retour des crues
- d'identifier des facteurs dont le caractère incertain a peu d'impact sur la précision des indicateurs fournis par l'outil *ACBDE* : Modèle Numérique de Terrain

Des voies d'améliorations ont donc été identifiées pour améliorer la pertinence des indicateurs fournis aux décideurs par l'outil *ACBDE* [4].

Cette démarche d'analyse de sensibilité de Sobol d'un modèle à entrées spatialisées est généralisable à d'autres modèles où les facteurs d'entrée ne sont pas scalaires. Elle permet d'élaborer des modèles d'incertitude sophistiqués pour chaque facteur d'entrée (géostatistique ou autre pour les entrées spatialisées). Sa principale limite est son coût en temps de calcul : elle devient de fait impraticable pour des modèles dont le temps de simulation est supérieur à la minute, ou pour un nombre de facteurs d'entrée supérieur à la dizaine.

Cadre de la thèse :

Directeur : Christian LAVERGNE, Institut de Mathématiques et de Modélisation de Montpellier

Encadrant : Jean-Stéphane BAILLY, enseignant-chercheur AgroParisTech

Ecole doctorale : Information, Structures, Systèmes (Montpellier II)

Labo : UMR TETIS (Territoires, Environnement, Télédétection et Informations Spatialisées)

Financement : salaire du Ministère de l'Agriculture (fonctionnaire IPEF)

Début : 1er novembre 2009

Etudiant :

Nathalie Saint-Geours, 25 ans

Formation : École Polytechnique 2004, École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts 2009.

Références

- [1] G. Cao and P. C. Kyriakidis. Combining transition probabilities in the prediction and simulation of categorical fields. In *Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, 2008.
- [2] A. Castrignano. Accuracy assessment of digital elevation model using stochastic simulation. In *7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences.*, 2006.
- [3] K. Erdlenbruch, E. Gilbert, F. Grelot, and C. Lescouliers. Une analyse coût-bénéfice spatialisée de la protection contre des inondations. application de la méthode des dommages évités à la basse vallée de l'orb. *Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires*, 53 :3–20, 2008.
- [4] F. Grelot, J.-S. Bailly, C. Blanc, K. Erdlenbruch, P. Meriaux, N. Saint-Geours, and R. Tourment. Sensibilité d'une analyse coût-bénéfice - enseignements pour l'évaluation des projets d'atténuation des inondations. *Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires*, Spécial inondations :95–108, 2009.
- [5] L. Lilburne and S. Tarantola. Sensitivity analysis of spatial models. *International Journal of Geographical Information Science*, 23 :2 :151–168, 2009.
- [6] A. Saltelli, M. Ratto, T. Andres, F. Campolongo, J. Cariboni, D. Gatelli, M. Saisana, and S. Tarantola. *Global Sensitivity Analysis. The primer*. Wiley, 2007.