

ADAGE : Amélioration des processus d'Aide à la Décision Associés à la GEstion des risques naturels en montagne

1. Partenaires

Cemagref Aix-en-Provence (porteur du projet)
Cemagref Grenoble
IRSN
ENMSE
ONERA Chatillon

2. Contexte et problématique

Des phénomènes naturels liés aux régions de montagne tels que les crues torrentielles peuvent menacer les enjeux situés à leur aval : personnes, infrastructures, milieux naturels et avoir des conséquences socio-économiques importantes. Ces phénomènes peuvent être par ailleurs accentués par les activités anthropiques (présence d'un barrage par exemple). Pour réduire les risques induits par ces aléas naturels, des mesures non structurelles (occupation du sol, alertes, information au public) et structurelles (réalisation d'ouvrages de protection) sont mises en œuvre sur les territoires concernés. La mise en place de la protection d'une zone induit des choix quant à ces différentes mesures, leur implantation, leur nombre... Ces choix sont établis à partir de la connaissance, souvent imparfaite, des aléas naturels. Comme le système étudié est complexe, il est important de développer des outils d'aide à la décision. Ces outils doivent pouvoir admettre comme entrées des données de natures différentes : dires d'experts, données de terrain, données issues de modèles numériques, de modèles experts ou de connaissance, de Systèmes d'Information Géographique... Ces données sont caractérisées par des incertitudes et imprécisions et peuvent provenir de sources multiples. Les sorties de ces outils sont la proposition et la caractérisation (localisation, nombre...) de mesures structurelles et non structurelles. Le projet ADAGE se place dans le cadre de l'amélioration des outils d'aide à la décision pour les acteurs du territoire. Il traite plus précisément du lien entre l'incertitude des données et la décision.

3. Objectif

L'objectif du projet est d'évaluer la confiance associée aux résultats de modèles impliqués dans l'aide à la décision et de fournir des méthodes permettant de rendre transparents la représentation et le traitement des informations intervenant dans le processus décisionnel.

Une première étape concerne les données. Il est en effet important de représenter et propager les imperfections des données d'entrée dans les modèles d'aide à la décision. Par ailleurs, pour une grandeur donnée, plusieurs sources d'information peuvent être utilisées, par exemple si l'on consulte différents experts. Cette multiplicité des sources peut engendrer des informations concordantes ou au contraire conflictuelles. Il convient de traduire ce type de situations en caractérisant la confiance associée aux données. Enfin, la prise en compte des aspects spatiaux dans la gestion des risques naturels en montagne constitue un élément essentiel mais aussi actuellement un verrou scientifique.

Dans un second temps, il est souhaitable de connaître la sensibilité des différents modèles qui nourrissent les outils d'aide à la décision. En effet, comme les données manipulées par les différents modèles sont entachées d'incertitude : variabilité des données (e.g. : pluviométrie), imprécision (e.g. : occupation des sols), incomplétude (description des phénomènes physiques), connaître l'impact de ces incertitudes sur le résultat est déterminant dans la prise de décision. L'analyse de sensibilité a pour objectif de quantifier l'effet des incertitudes d'une ou de plusieurs variables d'entrée sur la ou les variables de sortie. Ces analyses permettent notamment de dégager les variables d'entrée dont l'évaluation ou l'obtention doivent être particulièrement soignées car elles ont une forte influence sur le résultat final.

4. Approches méthodologiques utilisées

Depuis une trentaine d'années se sont développées des nouvelles théories de l'incertain (théorie des possibilités, des P-boxes, de l'évidence...) qui permettent de proposer un cadre plus souple que le cadre « bayésien » de la probabilité unique pour modéliser et propager les incertitudes. Ces nouvelles théories se sont révélées particulièrement adaptées pour éliciter de l'information dans les cas où les lois de probabilité des phénomènes ne peuvent être établies (insuffisance de données) ou quand les informations disponibles sont vagues voire de nature symbolique, ce qui est le cas dans le domaine des risques en montagne. Dans le projet, les techniques utilisées pour représenter et propager l'information font appel soit uniquement aux approches possibilistes, soit aux méthodes dites hybrides qui intègrent différents modèles de l'incertain. Le code SUNSET (Statistical UNcertainty and SENSitivity Tools) développé par l'IRSN a été mis en œuvre dans ce dernier cas.

5. Résultats

5.1 Etude d'incertitude et de sensibilité par des approches hybrides

L'aléa de lave torrentielle est défini par l'extension de la lave, et les hauteurs et vitesses d'écoulement en tout point du cône de déjection. La modélisation numérique est un outil permettant d'accéder à ces grandeurs. Cette étude s'inscrit dans cet objectif de quantification de l'aléa torrentiel par modélisation numérique sur le cône de déjection du bassin versant du Saint-Antoine (Modane, Savoie).

L'étude comprend deux phases :

- 1) une analyse d'incertitude vise à simuler les hauteurs maximales atteintes (paramètre prépondérant dans le calcul du risque torrentiel) en tout point du cône de déjection, pour différents scénarios de laves torrentielles auxquels on associe une vraisemblance (fréquence ou probabilité d'occurrence, par exemple) : on évalue l'incertitude sur ces hauteurs, compte tenu de l'incertitude connue sur les paramètres d'entrée du modèle ;
- 2) Une analyse de sensibilité décrit l'influence des incertitudes relatives aux paramètres d'entrée sur les résultats de modélisation : on évalue comment l'incertitude sur chacun des paramètres d'entrée explique l'incertitude sur les hauteurs d'écoulement.

Le choix des valeurs des paramètres d'entrée du modèle s'appuie autant que possible sur des investigations de terrain. Malheureusement, ces informations sont toujours imparfaites (variabilité des paramètres, ou mesures peu nombreuses ou imprécises...), et donc entachées d'une incertitude qu'il faut prendre en compte.

Les méthodes d'analyse d'incertitude usuelles, de type Monte Carlo, proposent une modélisation exclusivement probabiliste de cette incertitude. On montre qu'un tel paradigme reflète mal l'imprécision des informations disponibles. On s'intéresse donc à des formalismes (théories des possibilités et des fonctions de croyance) qui permettent une représentation plus fidèle de l'information imprécise, et une méthode de propagation (la méthode Hybride) qui les tolère.

Le logiciel SUNSET a été mis en œuvre afin de réaliser les analyses de sensibilité du modèle numérique Lave2D développé par le Cemagref de Grenoble. Ce modèle est un code numérique (FORTRAN) de résolution des équations de Barré Saint-Venant (moyennées sur l'épaisseur d'écoulement) bidimensionnelles, utilisant une résolution par volumes finis et des schémas de résolution de type Godunov. Il calcule des écoulements à surface libre de fluides non-newtoniens. Son domaine d'application principal (validé par un certain nombre de confrontations à des écoulements réels) est la simulation de l'étalement des laves torrentielles boueuses sur cônes de déjection torrentiels. Les fonctionnalités de SUNSET permettent d'étendre les techniques de Monte-Carlo utilisées dans les analyses probabilistes de sûreté aux distributions de possibilité et aux Pboxes. Les résultats se présentent sous forme de carte d'extensions représentées par des quantiles

Ce travail a été réalisé notamment lors du stage de Guillaume Dupouy (2010).

5.2 Prise en compte des aspects spatiaux

5.2.1 Application spatiale de la fusion d'information pour l'expertise des risques naturels gravitaires rapides en montagne

Pour représenter les imperfections de l'information et les prendre en compte dans la décision, une autre approche basée sur les techniques de fusion d'information (dans le cadre de la théorie des fonctions de croyance) a été proposée avec une composante spatiale. Une méthode dénommée ER-MCDA Spatiale (Aide multicritères à la décision, raisonnement crédibiliste) est proposée pour représenter l'influence de ces imperfections sur les résultats d'expertise. Elle associe l'analyse multicritères et les théories des ensembles flous, des possibilités et des fonctions de croyance en relation avec un environnement SIG.

Plusieurs « couches » d'information, provenant de sources hétérogènes plus ou moins conflictuelles sont fusionnées pour qualifier la confiance dans un résultat de type extension spatiale d'un phénomène ou d'une zone de risque. Il est ainsi possible de qualifier la qualité de l'information dans le processus de décision. Un point particulier a été examiné sur le problème de la continuité spatiale pouvant être conservée ou non par une résolution *pixelisée* (mode raster) avec les méthodes de fusion d'information explorées raisonnant sur un cadre discret de discernement : en effet, l'approche spatiale doit conserver la nature des phénomènes continus (comme la pente et le relief) entre deux mailles adjacentes. Il est ainsi possible de qualifier la qualité de l'information dans le processus de décision dans un cadre géo référencé.

Ce travail a été réalisé notamment lors du stage de Martin Rosalie (2010).

5.2.2 Outils de représentation spatiale d'informations imparfaites pour l'aide à la décision dans le cadre de la gestion des risques naturels en montagne

Les travaux se situent dans le cadre du développement d'une méthodologie d'aide à la décision intégrant à la fois les aspects spatiaux, l'imperfection des sources et l'hétérogénéité des sources d'information. De nombreux aspects ont été explorés pour assurer le transfert bidirectionnel entre un environnement SIG et des modules de calcul sous Matlab assurant la réalisation des calculs de fusion d'information. La visualisation des résultats, parfois considérée comme secondaire, constitue également un aspect important du travail. En l'état actuel, il s'agit encore d'un prototype perfectible. A terme, l'objectif est de disposer d'un outil qui permettra de saisir les informations caractérisées en terme d'imperfections, d'identifier les zones équivalentes en fonction de l'information disponible, de lancer le calcul de fusion et d'en représenter les résultats.

Ce travail a été réalisé notamment lors du stage de Eric Travaglini (2010).

5.3 Développement d'un outil d'évaluation de la sécurité des barrages en contexte incertain

Ce travail a été développé pour caractériser un ouvrage anthropique pouvant potentiellement accentuer les dommages causés par l'aléa naturel : les barrages hydrauliques notamment ceux situés en montagne peuvent accentuer les dégâts causés par les phénomènes initiaux. L'objectif des responsables de barrages est de garantir la sécurité et le fonctionnement normal des ouvrages en prévenant accidents et incidents. Ceci passe notamment par l'évaluation de la sécurité de ces ouvrages, à l'aide de données de différentes natures : observations visuelles, données d'auscultation, données issues de modèles, données de conception et réalisation. Le Cemagref d'Aix-en-Provence a développé des modèles d'évaluation de la sécurité, basés sur la formalisation et l'agrégation de connaissances. Les données d'entrée de ces modèles sont des indicateurs c'est-à-dire les données formalisées dans un cadre unique permettant une utilisation robuste. Elles sont fréquemment entachées d'imperfections (incertitude, imprécision, caractère vague). Ces imperfections ont été prises en compte en utilisant la théorie des possibilités : les distributions déclarées par les experts sont propagées dans les modèles d'évaluation de la sécurité.

Les travaux menés au cours du stage de Mehdi Echchadli (2011) ont permis de développer un outil logiciel unique (JAVA) intégrant la chaîne de prise en compte des imperfections de la représentation à la propagation dans les modèles d'évaluation de la sécurité.

6. Valorisation

6.1 Communications à congrès

Tacnet J.M., Rosalie M., Dezert J., Travaglini E. (2010). Spatial information fusion: application to expertise and management of natural risks in mountains, SAGEO'10 Conference, Toulouse, France, 17-19 November 2010.

Dupouy G., Tacnet J.M., Laigle E., Chojnacki E. (2011). Uncertainty analysis: application to debris flow hazard quantification. ROADEF2011, Saint Etienne, 02-04/03/2011.

6.2 Rapports d'étudiants

Guillaume Dupouy (2010). Risques naturels et simulation numérique. Etude d'incertitude et de sensibilité par des approches hybrides : application au cas des crues torrentielles. Stage de fin d'études Master de mathématiques – Université Paul Verlaine, Metz, 78 pages.

Martin Rosalie (2010). Application spatiale de la fusion d'information pour l'expertise des risques naturels gravitaires rapides en montagne. Stage de 4^{ème} année INSA Rouen, Département Génie Mathématique.

Eric Travaglini (2010). Outils de représentation spatiale d'informations imparfaites pour l'aide à la décision dans le cadre de la gestion des risques naturels en montagne. Stage de Master 1 – IMM, EGPM, Université de Chambéry.

Mehdi Echchadli (2011). Développement d'un outil d'évaluation de la sécurité des barrages en contexte incertain. Stage de Master 2 Sciences de l'Information et des Systèmes – Marseille

6.3 Soumission de projets à appel d'offres

Une thèse portant sur les méthodes de validation des systèmes d'aide à l'évaluation du risque industriel commencera à l'automne 2011. Ce sujet constitue une suite aux travaux menés dans le projet ADAGE.

Dans la suite du projet, le « consortium ADAGE » a répondu, fin 2010, comme partenaire dans un projet européen 7^{ème} PCRD qui n'a malheureusement pas été retenu pour financement. De nouvelles réponses à des appels d'offres sont prévues.