

LA MODELISATION DES DOMMAGES ET PERTES FINANCIERES CONSECUTIVES AUX INONDATIONS

Natural Hazards damage and financial loss modeling

Michel VORONKOFF

EQECAT

7 rue Drouot 75009 Paris

Tél: +33 (0)1 44 79 95 60, Fax: +33 (0)1 44 79 01 05, e-mail: mvoronkoff@eqecat.com

Les aléas naturels engendrent des cumuls de pertes importants car ces derniers couvrent de larges zones géographiques, un seul évènement pouvant frapper plusieurs pays. La réglementation et les enjeux financiers imposent aux acteurs de l'assurance et de la finance de quantifier leur exposition à ces risques et en particulier les cas extrêmes. La modélisation stochastique des pertes apporte aux décideurs les outils dont ils ont besoin pour simuler la complexité des formes de couvertures existantes et les risques de ruine. Les grandes lignes de l'élaboration d'un modèle stochastique d'inondation sont exposées ci-dessous.

Natural hazards generate large accumulations of damage and financial losses because of the geographical extent of events which can span entire regions. The legislation and financial stakes impose upon this industry that losses are quantified in particular extreme losses. Stochastic modeling of losses is an essential tool for risk quantification of this complex field. A high level outline of the development of a typical loss model is described in the following paper.

I INTRODUCTION

Les Compagnies d'assurance et les Réassureurs ont besoin de déterminer les pertes financières auxquelles elles sont exposées à la suite des évènements extrêmes qu'elles couvrent [1], [2]. Un évènement extrême peut être un aléa naturel (tremblement de terre, inondation, tempête), un accident technologique (explosion d'une usine, un crash d'avion ou de satellite), ou encore les pertes consécutives à une pandémie, etc. Cette liste est loin d'être exhaustive.

Ce besoin de détermination des pertes résulte non seulement de leurs engagements de couverture auprès de leurs assurés mais répond à d'autres obligations telles que la capitalisation requise, la note financière attribuée par les Agences de Notation, les exigences des Investisseurs et Actionnaires et les règles comptables telles que Solvabilité 2.

D'une façon simplifiée tous ces besoins se manifestent sous la forme d'une courbe de Sévérité/Fréquence pour un Risque/Aléa ou une combinaison d'évènements (ex : un tremblement de terre en Italie + un crash d'avion au dessus de l'Atlantique + un ouragan en Floride la même année)

Dans les chapitres qui suivent nous prendrons l'exemple de l'inondation et en particulier comment on crée un modèle probabiliste pour obtenir cette relation sévérité fréquence en unités financières (e.g. Euros).

Toutes les parties du modèle qui utilisent les outils et méthodes traditionnels de l'hydrologie et de l'hydraulique ne sont pas détaillées dans le texte ci-dessous. Seules les parties qui sont plus spécifiques au domaine de l'assurance et des pertes financières sont expliquées.

II LES MODELES PROBABILISTES DE PERTES FINANCIERES

Ils se composent en général de quatre modules :

- L'aléa
- Le « portefeuille » ou la représentation du bâti
- Les vulnérabilités
- Le module financier

Nous décrivons chacun de ces modules dans les paragraphes qui suivent. Une description exhaustive du fonctionnement de ce genre de modèle probabiliste put être trouvée dans la littérature [3].

III L'ALEA

III.1 PRINCIPE

En termes simple l'aléa se traduit par une courbe de Sévérité/Fréquence sur une série de zones ou de points géographiques. Ces points géographiques peuvent être :

- une grille régulière (0.0025° par 0.0025° par exemple)
- des cellules : zones d'aléa uniforme (terrain de même altitude où la profondeur d'eau sera la même pour une intensité de précipitation donnée)
- un quartier, un code postal, etc.

Un exemple est donné ci-dessous pour un point donné.

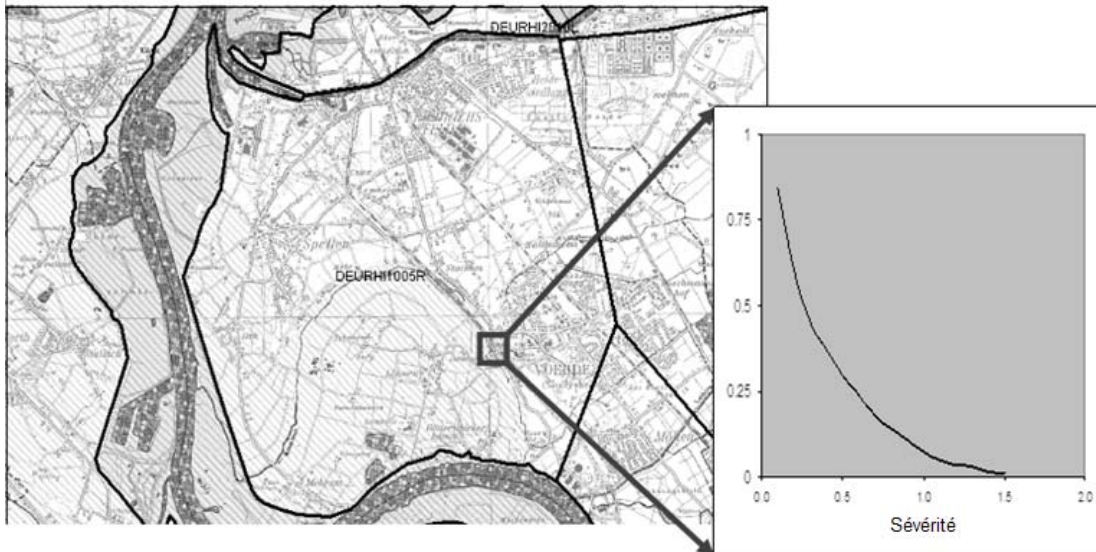


Figure 1 – Courbe Sévérité/Fréquence en un point donné

Cette courbe de Sévérité/Fréquence doit envisager tous les scénarios possibles afin de déterminer les valeurs extrêmes en queue de distribution, d'où la nécessité de créer un ensemble probabiliste d'« évènements ».

III.2 CREATION D'UN ENSEMBLE STOCHASTIQUE D'EVENEMENTS

La définition d'un évènement peut varier d'un modèle à l'autre mais c'est un élément essentiel de la modélisation en réponse aux besoins de l'assurance. Comme indiqué dans l'introduction, l'Assureur doit quantifier son exposition maximale à tous les risques qu'il couvre dans son portefeuille. Il nous faut donc prendre en compte les corrélations entre risques potentiellement concomitants. Ici nous devons inclure la corrélation qu'il peut y avoir entre des inondations dans deux ou plusieurs zones géographiques distinctes mais ayant le même fait générateur (appartenant au même « évènement »).

De cette notion découle la définition d'un évènement : un évènement est un système dépressionnaire qui engendre des précipitations. Le fait générateur est donc l'évènement météorologique. Une illustration en est donnée sur la Figure 2.

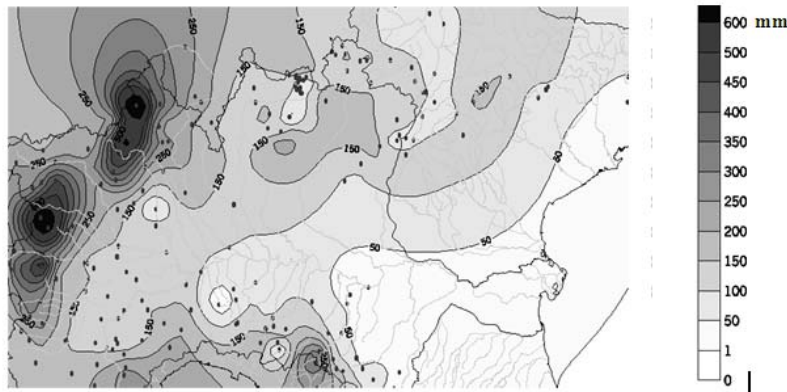


Figure 2 - Un évènement météorologique affecte plusieurs bassins
(Le réseau hydrographique apparaît en gris clair)

L'ensemble stochastique d'évènements est construit à partir de données de précipitation historiques, de ré-analyses, de données satellite et des études scientifiques. Une simulation de type Monte Carlo des paramètres qui définissent l'évènement météorologique va générer l'ensemble des évènements synthétiques [4]. L'objectif est d'obtenir l'ensemble des évènements possibles au regard de l'environnement géographique et météorologique local. Au final, un évènement est le cumul de précipitation « effectif » au niveau du sol, i.e. en prenant en compte l'influence de la topographie et du couvert végétal sur la redistribution des précipitations.

III.3 ECOULEMENT

L'étape suivante est la transformation de ces précipitations en écoulements dans les bassins versants puis dans les rivières.

Un « évènement météorologique » de l'ensemble probabiliste est une combinaison unique d'intensités de précipitations cumulées en chaque point de la grille. Il va engendrer une réponse précise du « système hydrologique » suivant les conditions initiales du système (niveau initial des cours d'eau, saturation du sol, infiltration, retenues de surface, fonte des neiges, etc.).

Les conditions initiales du système sont choisies de façon probabiliste. Un échantillon est tiré de la distribution caractéristique de chacun des paramètres qui décrivent les conditions initiales en prenant soin de conserver les corrélations entre paramètres.

A partir des intensités de précipitations, des conditions initiales dans chaque bassin versant, de la topographie, la nature du terrain, le couvert végétal, etc. la transformation en écoulement relève de l'hydrologie classique et nous ne la nous ne détaillerons pas ici.

L'écoulement dans le réseau hydrographique (les crues) se calcule à partir des équations classiques d'écoulements de surface.

III.4 INONDATION

Une fois quantifié les débits dans chacun des cours d'eau il est nécessaire d'établir la hauteur d'eau en chaque point de ces derniers (tous les 10 ou 100 mètres par exemple) et de le comparer à la hauteur des berges ou des digues de protection.

La hauteur des digues et des berges est établie à partir d'informations diverses : services de conception et d'entretien des digues, relevés topographiques, cartes satellites et modèles numériques de terrain.

La conception des digues, leur entretien et la vulnérabilité qui en découle sont issues des mêmes informations.

Cependant de multiples facteurs déterminent la vulnérabilité des digues : conception, réalisation, nature des matériaux utilisés, entretien, intervention en cas de crue, etc.

Ces détails ne sont pas disponibles ou, s'ils le sont, ne sont pas exploitables dans le cadre du modèle (trop lourds à gérer). Toutes ces incertitudes sont donc gérées de façon probabiliste.

Plus l'eau se rapproche du haut de la digue (water deficit cf. Figure 3), plus la probabilité d'échec augmente (débordement, rupture, etc.). Ces probabilités sont basées sur une étude détaillée des ruptures de digues dans plusieurs pays. Suivant la qualité de la digue on utilise une courbe de plus ou moins grande vulnérabilité. Ceci est représenté dans la figure ci-dessous [5].

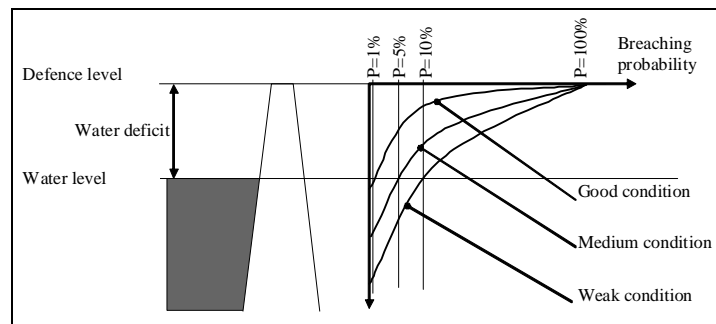


Figure 3 - Probabilité d'échec d'une digue suivant la hauteur d'eau

Une fois la digue rompue ou dépassée, l'eau s'écoule progressivement dans la partie de terrain protégé par cette dernière. La propagation se fait au moyen d'un modèle hydrodynamique de terrain (GIS Raster Hydrodynamic flow model par exemple).

Pour chaque scénario de rupture ou débordement nous obtenons une surface d'inondation et une profondeur en chaque point de la grille.

En chaque point de la grille nous obtenons finalement la fonction profondeur d'eau/fréquence (Hazard curve) évoquée ci-dessus.

La simulation stochastique des précipitations va engendrer l'ensemble des combinaisons de scénarios possibles dans chaque bassin versant, les scénarios d'écoulements possibles qui en découlent et l'ensemble des scénarios de débordement ou rupture de défenses. Au final un évènement est une combinaison unique de hauteurs d'eau en chaque point avec leur fréquence.

Les incertitudes liées à la qualité des données de même que toutes les incertitudes de modélisation sont systématiquement propagées et nous obtenons au final non une valeur en chaque point de notre grille pour chaque scénario mais une distribution.

Sur la Figure 4 sont présentés, pour une localité donnée, deux évènements associés à des périodes de retour différentes. Si celle correspondant à une période de retour de 5 ans ne devrait pas provoquer beaucoup de dommages et pertes pour l'Assureur, celle correspondant à une période de retour de 50 ans s'avère beaucoup plus destructrice. Les digues ont donc été, soit rompues soit dépassées dans ce scénario.

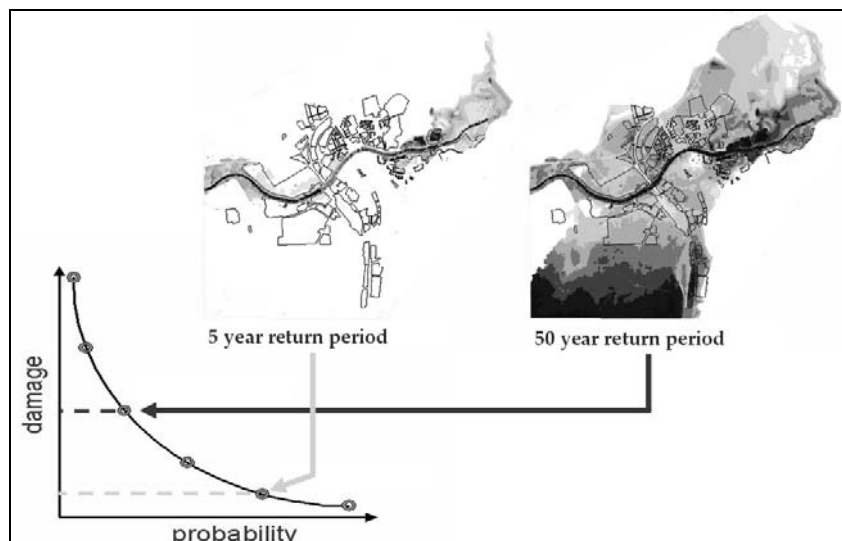


Figure 4 - Exemple d'inondation sur l'ensemble probabiliste d'évènements

IV PORTEFEUILLE ANALYSE

Le portefeuille est ici soit le portefeuille de biens assurés soit la représentation de tous les bâtiments et structures d'une ville, région, pays, continent...

Pour établir les dommages aux structures nous avons besoin des informations suivantes :

- Nature du bâtiment : matériaux de construction, hauteur, nombre d'étages, présence éventuelle de sous-sols.
- Affectation : susceptibilité du contenu (depuis les biens résidentiels jusqu'aux outils de production, en cours, stockages de produits finis, etc..). Ce paramètre détermine aussi les pertes d'exploitation.
- Localisation du bâtiment dans l'espace et en altitude afin de le positionner correctement et déterminer la profondeur d'inondation pour chacun des scénarios. Cette information peut se présenter sous deux formes :
 - Nous connaissons le positionnement précis (latitude, longitude, élévation) et la description détaillée du type de bâtiment (toutes les informations ci-dessus). Dans ce cas il ne reste plus qu'à positionner les bâtiments, sélectionner la vulnérabilité qui les caractérisent et lancer les calculs de dommages et pertes financières (cf. chapitre suivant)
 - Dans la majorité des cas nous n'avons que des informations partielles ou pas d'information du tout. Nous créons alors une représentation du bâti intégré au modèle (cf. Figure 5). Pour créer ce modèle nous utilisons une combinaison d'informations : recensement, modèles de terrain – couverture et élévation [6]. La description de cette modélisation dépasse le cadre de ce document.

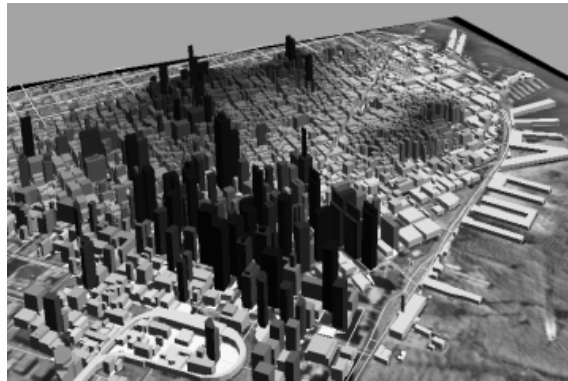


Figure 5 - Exemple de représentation de bâti

V LES VULNERABILITES

Les vulnérabilités des bâtiments et structures s'expriment en pourcentage de dommages en fonction de la sévérité de l'aléa. Ces courbes sont créées à partir du travail d'ingénieurs analysant la réponse des matériaux de constructions aux contraintes liées à l'aléa [7], [8], [9]. Un exemple est présenté sur la Figure 6. Dans le cas de l'inondation, la sévérité est la hauteur d'eau dans le bâtiment. La vitesse d'écoulement, le transport de débris et la durée totale de l'inondation sont des composantes aggravantes. Pour faire simple, exprimons la sévérité de l'aléa sous la forme d'une hauteur d'inondation. Deux structures identiques soumises à la même hauteur d'eau ne subissent pas exactement le même niveau de dommages : la réaction des occupants, l'intervention, la nature des cloisons, etc. sont autant de détails qui font que les dégâts seront différents même pour des structures que l'on croit rigoureusement identiques. Les dommages seront donc une distribution et non une valeur unique. Ceci est représenté dans la Figure 7.

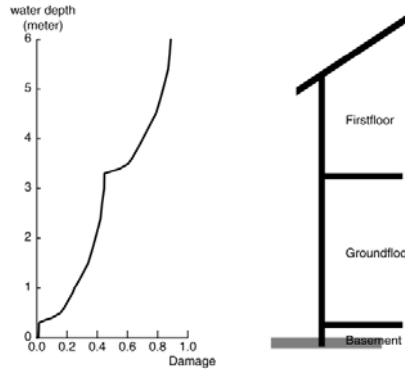


Figure 6 - Exemple de courbe de vulnérabilité pour une maison de 2 étages avec sous sol

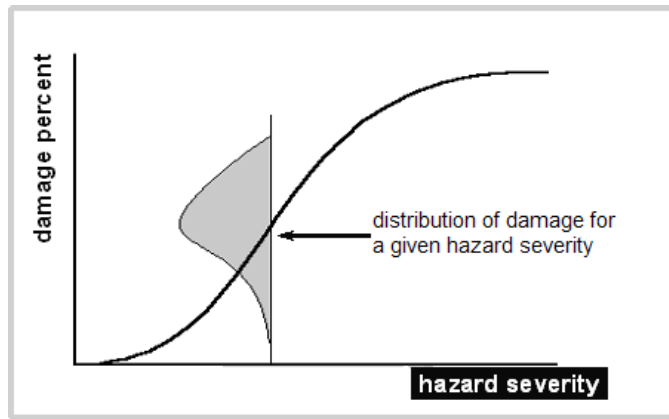


Figure 7 - Distribution des dommages possibles pour une sévérité donnée

VI LE MODULE FINANCIER

Dans les étapes précédentes nous avons obtenu :

- Le descriptif détaillé du portefeuille représenté simplement sur la Figure 8. Grâce à ce descriptif nous savons quelle fonction de vulnérabilité choisir pour chaque site ou structure. Nous avons en outre une valeur financière pour chacun de ces éléments.

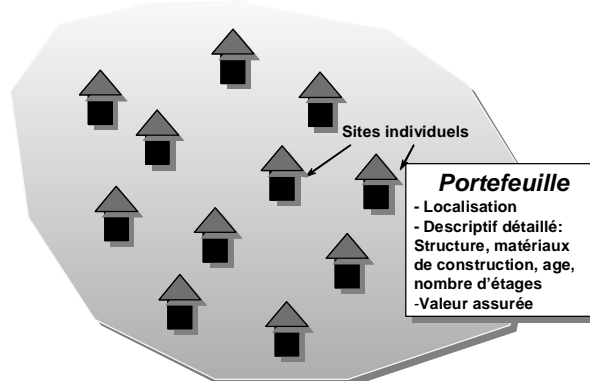


Figure 8 - Représentation simplifiée d'un portefeuille d'assurance

- Une distribution de sévérités pour chacun des sites inclus dans le portefeuille
- Nous pouvons maintenant combiner ces informations pour obtenir la distribution de dommages en chaque point (pour chaque structure) et pour chaque évènement. Ceci est représenté sur la Figure 9 pour un évènement et un site donné.

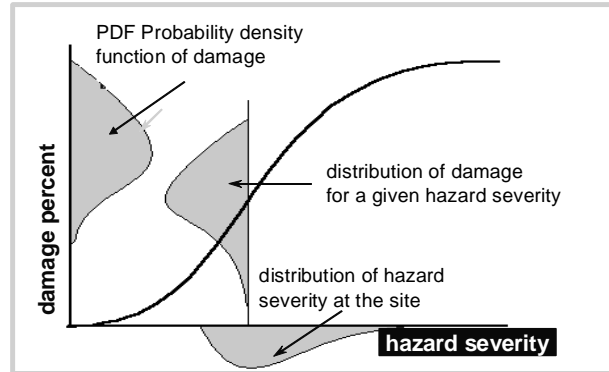


Figure 9 - Distribution de dommages en chaque point

Pour chaque évènement nous pouvons calculer la somme des dommages pour l'ensemble des bâtiments qui composent notre portefeuille. Rappelons que ces dommages s'expriment sous la forme de distributions et non de valeurs uniques. Pour les additionner nous devons prendre en compte les corrélations entre les éléments du portefeuille.

En prenant l'ensemble des événements de l'ensemble stochastique nous pouvons finalement construire une courbe de « non-dépassement de seuil » pour l'ensemble du portefeuille. Ceci est représenté dans la figure ci-dessous.

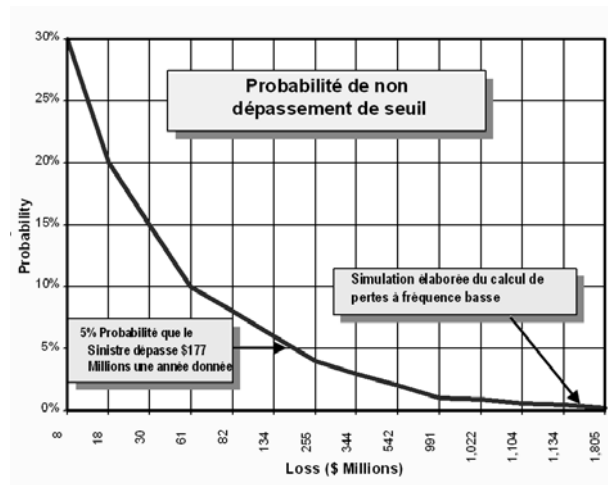


Figure 10 - Courbe de non dépassement de seuil (Non exceedence Probability curve)

Cette courbe est le début du modèle suivant qui prend en compte la complexité des structures d'assurance. Ceci est schématisé sur la Figure 11 mais dépasse le cadre de ce propos. Des détails concernant les aspects financiers de ce genre de modèles peuvent être trouvés par exemple dans [10].

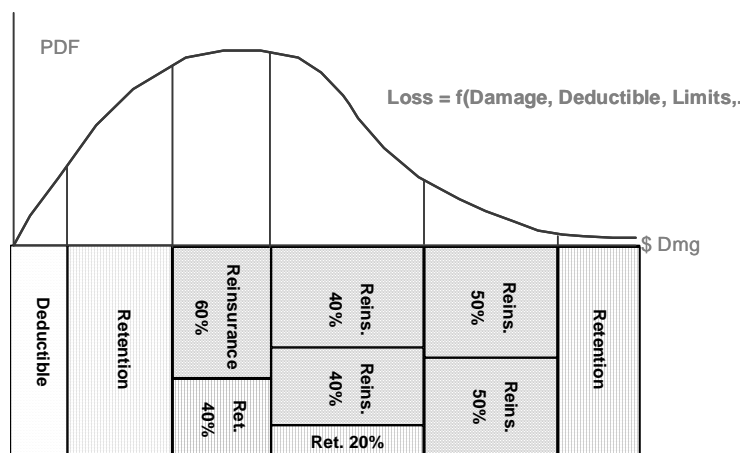


Figure 11 - Représentation simplifiée des structures d'assurance appliquées à la courbe de non-dépassement de seuil.

VII CONCLUSIONS

Les besoins de l'assurance en modélisation des inondations (ou autres risques naturels) diffèrent de ceux des autres secteurs qui traitent du même sujet. Pour les secteurs de l'assurance et de la finance la modélisation fait appel à plusieurs domaines: hydrologie, hydraulique, vulnérabilité des structures et modèles financiers et assurantiels dans un modèle intégré, mais en outre, l'attente du secteur est que l'on puisse obtenir des résultats sous quelques heures au moyen d'une station de travail standard. Ceci exige une optimisation de l'ensemble du progiciel. Un autre aspect est la nécessité de déterminer les pertes financières qui résultent de la simulation de l'ensemble des scénarios possibles y compris les plus extrêmes afin d'identifier les risques de ruine pour des événements qui peuvent être très ou peu corrélés entre eux. La simulation stochastique est particulièrement bien adaptée pour répondre à ce besoin et est de plus en plus utilisée afin de répondre aux attentes de tous les acteurs du monde de l'assurance et des marchés financiers.

VIII REFERENCES ET CITATIONS

- [1] Menzinger, I. & Brauner, C. (2002). - *Floods are insurable!* Swiss Reinsurance Company
- [2] Georisk Research Group (2005). - *Schadenspiegel 3/2005 Special issue*. Münchener Rückversicherungs- Gesellschaft
- [3] Grossi, P. & Kunreuther, H. (2005). - *Catastrophe Modelling: a new approach to managing risk*. Springer
- [4] EQECAT Research Group. (2007).-EuroFlood, http://www.eqecat.com/resources/brochures/2007/EuroFlood_February_2007.pdf
- [5] Woo, G. (1994). - *Vulnerabilities of Sea Defences*. Floodcap Documentation
- [6] Toothill, J., Milligan, A & EQECAT Research Group. (2005). - *Flood analysis tools: how can they be validated?* Catastrophe Risk Management/Guy Carpenter
- [7] Hydratec & SIEE (1998). - *Evaluation des Dommages Liés aux Crues en Région Ile-De-France*
- [8] Federal Emergency Management Agency (2008). - *Flood Damage-Resistant Materials Requirements*, Technical bulletin 2.
- [9] Merz, B., Kreibich, H., Thieken, A. & Schmidtke R. (2004) - Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **4**, 153–163
- [10] Woo, G. (1999). - *The mathematics of natural catastrophes*. Imperial College Press