



HAL
open science

La modélisation au service de la valorisation de l'information sur les événements issus de risques

Aurélie Arnaud

► **To cite this version:**

Aurélie Arnaud. La modélisation au service de la valorisation de l'information sur les événements issus de risques. Cinquième Rencontre Géorisques: "L'apport de la modélisation dans la connaissance et la gestion des risques naturels", Feb 2003, Montpellier, France. pp.13. halshs-00667174

HAL Id: halshs-00667174

<https://shs.hal.science/halshs-00667174>

Submitted on 7 Feb 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Aurélie ARNAUD et Paule-Annick DAVOINE

Contacts : orelyarno@yahoo.fr

Adresse : Institut de Géographie Alpine, Cité des territoires, 14bis avenue Marie Reynoard, 38 100 Grenoble

Tél. : 06 03 36 58 62 ou 04 79 82 72 57

La modélisation au service de la valorisation de l'information sur les événements issus de risque

Aurélie ARNAUD

Laboratoires PACTE-CNRS-TERRITOIRES et Laboratoire d'Informatique de Grenoble (LIG)

Université Joseph Fourier, Grenoble 1

orelyarno@yahoo.fr

ARNAUD Aurélie, 2009. « La modélisation au service de la valorisation de l'information sur les événements issus de risques. » *in* Cinquième Rencontre Géorisques : "L'apport de la modélisation dans la connaissance et la gestion des risques naturels", Université Paul-Valéry, Montpellier, 3 février 2009.

Résumé :

L'information sur les événements issus de risque possède un certain nombre d'enjeux pour diverses catégories d'acteurs de territoires : les scientifiques, les décideurs et les techniciens. Il est alors nécessaire de la valoriser, mais cette action est limitée car l'information possède de nombreuses spécificités. En plus d'être temporelle et thématique, elle contient également des informations sur l'incertitude (par exemple l'imprécision, les lacunes informationnelles et la fiabilité des sources). Afin de rendre lisible l'ensemble de ces spécificités, la modélisation constitue une étape transitoire mais essentielle entre l'information récoltée et son état valorisé. L'association de la modélisation à la cartographie et à la géovisualisation permet de cheminer vers la réalisation d'outils pour consulter toutes les dimensions de l'information. Toutefois, notre article se focalise sur la présentation d'une méthode de modélisation employée pour comprendre et faciliter la valorisation de certaines spécificités de l'information appliquée aux événements issus de risque.

Mots clés : Modélisation, événements issu de risque, information

Abstract :

Risks events Information has a number of issues for various actors territories categories: scientists, decision makers and technicians. It is then necessary to valorise, but this action is limited because the information has many characteristics. Indeed, it is both spatial, temporal and thematic, but it also contains information on the uncertainty (vagueness, inadequate information and sources reliability). To make clear all of these characteristics, modeling constitute a transitional stage but central between the collected information and its valorisation status. The combination of modeling and géovisualisation permit to move towards mapping tools to view all aspects of information. The article focuses on a modeling method presentation used to understand and facilitate valorisation on some information specificities applied on risks events.

Key words: Modeling, Risks Events, Information

Title : Information Valorisation Modeling on Risks Events

La recherche ici présentée se situe dans la modélisation de l'information relative à des événements issus de risque. Il s'agit d'une étude pluridisciplinaire entre géographes et informaticiens.

L'information sur les événements passés comprend les données et les informations sur les phénomènes (inondations, avalanches, éboulements) et les dommages issus de risque. Elle possède un certain nombre d'enjeux. D'une part, elle est très utile aux scientifiques qui la réutilisent pour valider, par exemple, leurs modèles de simulation dans le cadre de prévision du risque. D'autre part, elle est indispensable aux décideurs qui s'appuient sur elle pour orienter leur choix en termes de prévention du risque, d'aménagement mais aussi de développement de leur territoire. Les techniciens, quant à eux, l'utilisent notamment pour dimensionner des ouvrages de protection (Arnaud, 2003).

Cette information, indispensable aux acteurs de territoire, nécessite alors d'être valorisée. Les apports de la cartographie (par exemple les règles de sémiologie graphique) et de la géovisualisation (ex. un environnement interactif, animé et multimédia associé à la carte) montrent un grand potentiel de valorisation (Arnaud, 2006). Cependant, celles-ci ne mettent pas suffisamment en évidence de solutions pour valoriser certains aspects des dimensions spatiales, temporelles et thématiques de l'information.

Notre objectif est alors de comprendre les spécificités de l'information sur les événements issus de risque au moyen de leur modélisation. En effet, la modélisation joue ici un rôle d'aide à la compréhension du monde réel et plus particulièrement des notions et des concepts. Dans notre cas, elle a pour but de faciliter la cartographie et la géovisualisation de l'information sur les événements. La modélisation constitue alors une véritable transition entre l'information récoltée et l'information valorisée.

Pour répondre à cet objectif, cet article se concentre, dans une première partie, sur l'analyse de quelques spécificités de l'information à valoriser. Une seconde partie explique notre méthode employée afin de modéliser ces aspects mais également pour modéliser la notion d'information sur les événements issus de risque. Une dernière partie présente nos résultats en terme de modélisation appliquée à cette information et ses spécificités.

1. Problèmes posés par les spécificités de l'information

L'information sur les événements possède de nombreuses spécificités. Nous présentons celles dont les acteurs ont le plus besoin, à savoir, les dimensions spatiales, temporelles ainsi que l'incertitude de l'information.

que l'année, la saison, etc. La **période de retour** peut être considérée comme une fréquence prévue : par exemple une fois tous les cent ans ;

- l'**ordre** : ordre temporel (chronologique) ou atemporel de scènes qui font sens, par exemple des événements ou des contextes de risque ;

- le **taux de changement** ou la *vitesse de changement* : ampleur de modification dans une durée de scène. Il s'agit de la rapidité d'exécution des événements et des phénomènes ;

- la **synchronisation** : correspondance temporelle de deux ou plusieurs séries chronologiques. L'événement est issu d'une conjonction temporelle entre un phénomène et des éléments exposés dont la dimension synchrone est la source des dommages.

Les cartes associées aux techniques de géovisualisation permettent d'apprécier quelques temporalités : la rapidité d'exécution, la fréquence, l'espacement chronologique et la durée. Toutefois, la perception de ce type d'information reste limitée.

1.3. L'incertitude de l'information

L'incertitude est une l'information sur l'information, ce que nous nommons une « méta-information ». L'incertitude est déconsidérée par les sciences car elle est associée à la faute et à l'incapacité de quantifier ou de qualifier de manière précise. Ceci explique qu'elle soit parfois dissimulée. De plus, cette incertitude est peu comprise par les profanes qui ont du mal à l'accepter (Decrop, 1997).

Les sciences humaines et sociales (Roland-May, 2000 ; Lang, 2003) considèrent l'incertitude comme une dimension floue intégrant l'imprécision spatiale (ex. « *près de l'église* ») et sémantique (ex. « *environ* »), la subjectivité (engendrée par exemple par l'oubli, l'omission ou la surestimation), la fiabilité des sources et les erreurs dans les processus de transformation de l'information (également nommée généalogie ou lignée de l'information ou encore traçabilité). Dans le domaine de la géomatique, d'autres facteurs d'incertitude apparaissent (Buttenfield, 1994 ; Thomson, 2005 ; Skeels, 2007 ; Griethe, 2006) : l'exactitude de l'information (objectivité considérée par les scientifiques), son incomplétude, son exhaustivité (description des objets et de leur relation), sa cohérence logique (accord/désaccords des experts) ainsi que l'interrelation des sources. Certains de ces facteurs d'incertitude servent à décrire la qualité de l'information. Celle-ci est définie par de nombreuses définitions : les normes 19113 ; la norme ISO 8402 ; ISO/TC 211 ; Pornon, 1992 ; Cauvin, 2007. Elles convergent vers trois critères de qualité : la fiabilité des sources, les erreurs de généalogie de l'information et la dimension floue (imprécision).

Néanmoins, l'information sur ces facteurs d'incertitude est peu accessible pour deux raisons : un manque de renseignement de ces derniers et un manque de structuration du stockage de cette information dans les systèmes d'information.

La superposition spatiale d'informations, les multiples temporalités et les facteurs d'incertitude relatifs à l'information sur des objets sont des spécificités encore peu lisibles par les acteurs de territoires, que ce soit sur le Internet, dans la presse ou dans la bibliographie universitaire (Arnaud, 2003). La modélisation est le moyen choisi pour mieux comprendre ces spécificités, tout en permettant de les juxtaposer à la notion d'information sur les événements issus de risque.

2. Eléments de modalisation comme base méthodologique

Notre base méthodologique est la modélisation puisqu'elle permet d'une part de comprendre le monde réel, et, d'autre part, d'appréhender des notions et des concepts. Le langage de modélisation UML (*Unified Modeling Language*) apporte des éléments de base. Cependant d'autres langages ajoutent des éléments permettant de prendre en compte les dimensions spatiale et temporelle de l'information, et donc d'augmenter la représentation du monde réel. C'est le cas, par exemple, du langage de modélisation AROM qui a l'avantage de proposer un formalisme « à la UML » ; mais aussi des approches modélisatrices de MADS (*Modélisation d'Applications à Données Spatio-temporelles*) et *Perceptory*. Toutefois, si celles-ci présentent chacune des qualités, il n'en reste pas moins qu'elles sont complémentaires. C'est la raison pour laquelle, dans un souci de rendu graphique reflétant la réalité de notre problématique, nous utiliserons les deux formalismes. Nous proposons également de compléter cette approche en nous appuyant sur l'utilisation du principe de pictogramme (proposé dans MADS ou *Perceptory*) pour modéliser quelques spécificités de l'information.

2.1. Langages utilisés pour modéliser des notions et des concepts

Les éléments de la réalité sont modélisés en un ensemble d'entités (ou d'« objets ») - matérielles (ex. des traces) ou virtuelles (le temps) - de relations et de fonctions. Les langages UML et AROM vont servir à construire des modèles de représentation de l'information sur les événements issus de risque et sa dimension incertaine. Cette application est présentée dans la troisième partie de l'article.

UML (Boock, 2003 ; INRIA, 1999) est un langage de modélisation et de communication standardisé qui permet de spécifier, visualiser, implémenter et documenter les Systèmes d'Information (SI) (Rumbaugh, 1998). Il aide les scientifiques à modéliser en formalisant leurs connaissances. Ce langage est souvent utilisé dans le

développement de SI pour les risques naturels (Napoli, 2003). La création de diagrammes¹ permet de représenter tous les aspects du système à modéliser. Il en existe de plusieurs types. Nous choisissons les diagrammes d'objets qui permettent de mettre en évidence des relations entre les notions et les concepts ; et des diagrammes de classes qui permettent de détailler leur composition.

AROM (Page, 2001) est un système de représentation de connaissances par objet qui comporte son propre langage de modélisation se basant sur des classes (comme celles d'UML) et des associations. Ce langage diffère d'UML puisque les associations sont exprimées en classes d'association, permettant de mieux intégrer les contraintes des utilisateurs : par exemple « affecte », « compose », « appartient », « héberge », « possède ».

De plus, AROM possède une extension spatio-temporelle « ST » qui permet d'intégrer une description temporelle des objets : un événement ponctuel (une date), une durée définie (une période temporelle), ou encore un temps illimité (on connaît la date de création de l'objet mais pas de sa fin). Cependant, le moment et la durée sont les seules temporalités prises en compte. D'autres formalismes vont alors nous guider vers une modélisation des dimensions spatiales et temporelles de l'information.

2.2. La modélisation de la dimension spatio-temporelle

La représentation des aspects spatio-temporels de l'information peut utiliser des pictogrammes qui apparaissent dans des diagrammes d'objets et de classes. MADS (Vangenot, 2002 ; Spaccapietra, 2007 ; Proulx, 2002) et *Perceptory* (Bédard, 2004) en proposent, par exemple, pour représenter le signe élémentaire de chaque objet cartographié à travers des pictogrammes (le point , la ligne  et la surface ). Ces pictogrammes sont ajoutés dans la zone du nom de la classe afin d'indiquer l'existence d'une représentation cartographique particulière. Cette méthode s'étend aux temporalités pour indiquer certains états des objets : le moment d'occurrence , la durée  mais aussi la fréquence   sont utilisés dans la modélisation MADS. Ces pictogrammes sont appliqués au niveau des attributs des classes. Dans le cas d'une généralisation, la sous-classe hérite des pictogrammes de la classe.

Toutefois, malgré la diversité des pictogrammes, il est peu évident de se rendre compte de la superposition d'objets et de toutes les formes d'évolution de ceux-ci dans le temps. Notre objectif est alors d'élargir cette collection de pictogrammes.

2.2.1. Proposition de pictogrammes pour modéliser la superposition de l'information

Lors de processus de généralisations cartographiques, des objets peuvent se chevaucher et même se cacher. En effet, un problème récurrent dans la représentation de certains objets appartenant à une même classe est la superposition, d'autant plus lorsqu'il s'agit d'éléments similaires à des dates différentes (ex. les inondations). Or peu de méthodes de modélisation permettent à ce jour de l'indiquer. Nous avons donc créé un pictogramme « superposition » dans l'esprit de la modélisation MADS. Ce pictogramme «  » permet désormais d'intégrer cette spécificité aux modèles afin d'indiquer, par exemple, qu'une représentation cartographique adaptée est nécessaire pour lire l'ensemble de l'information présente.

2.2.2. Proposition de pictogrammes pour modéliser les temporalités

Nous proposons des « pictogrammes temporels » afin d'élargir la prise en compte de la dimension temporelle dans les modèles (Tableau 1).

Tableau 1. Pictogrammes de modélisation de quelques temporalités

Temporalités	Pictogrammes
Période de retour	
Vitesse	
Espacement temporel	
Ordre chronologique	
Synchronisation	

La création du pictogramme de la période de retour se base sur le signe du cycle sur lequel nous ajoutons des points représentant la potentialité du retour de phénomènes. Sur le même principe de modélisation, nous avons associé des pictogrammes aux critères de mouvements (l'ordre logique, le déplacement) mais également des temporalités métaphoriques (linéaires, cycliques), Arnaud (2009).

L'utilisation adaptée des langages de modélisation UML, AROM et MADS vont maintenant permettre de modéliser l'information sur les événements et l'incertitude, tandis que la création de pictogrammes à partir de MADS et *Perceptory* enrichit cette modélisation grâce à la possibilité de représenter de nouveaux aspects de la dimension spatiale et temporelle. La partie suivante présente une application de cette méthode de modélisation.

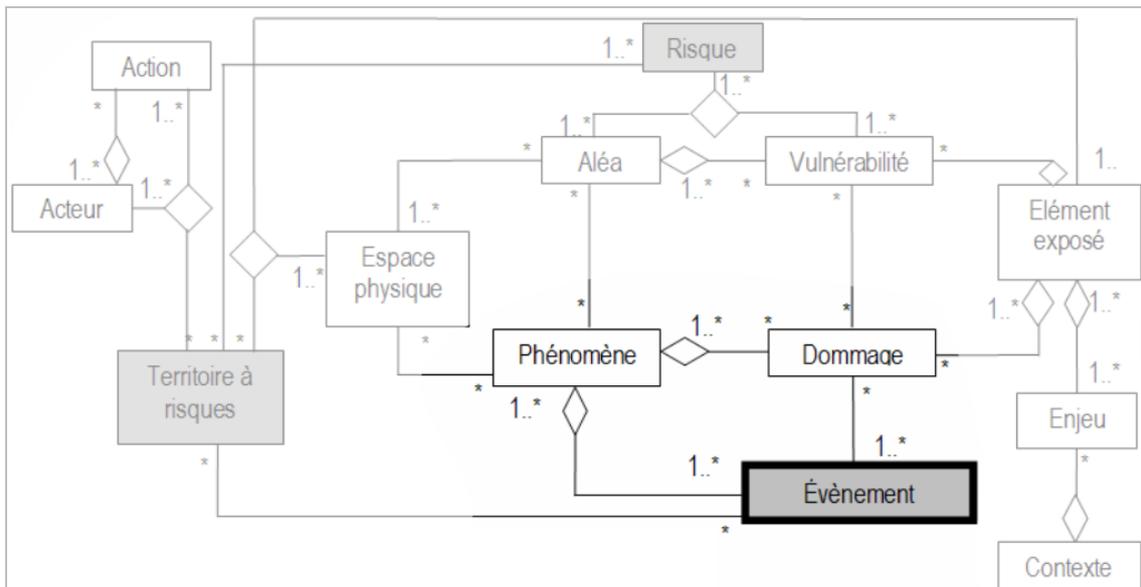
3. Modélisation de l'information sur les événements issus de risque et ses spécificités

La méthode de modélisation que nous venons de présenter permet maintenant de modéliser l'information sur les événements en y associant ses spécificités. La création d'un modèle, au moyen de diagrammes d'objets et de classes autour de la notion d'information sur l'événement issu de risque, permet de recenser et d'organiser tous les termes relatifs à cette dernière afin de comprendre son sens et les relations entre les objets modélisés. Les pictogrammes ajoutés à côté du nom des classes améliore la compréhension de la dimension spatio-temporelle des objets modélisés. La spécificité de l'incertitude de l'information est modélisée à travers un diagramme de classes qui se greffe à tout objet des diagrammes précédents contenant ce type d'information (§ 3.2).

3.1 Proposition d'un modèle événement intégrant la dimension spatio-temporelle

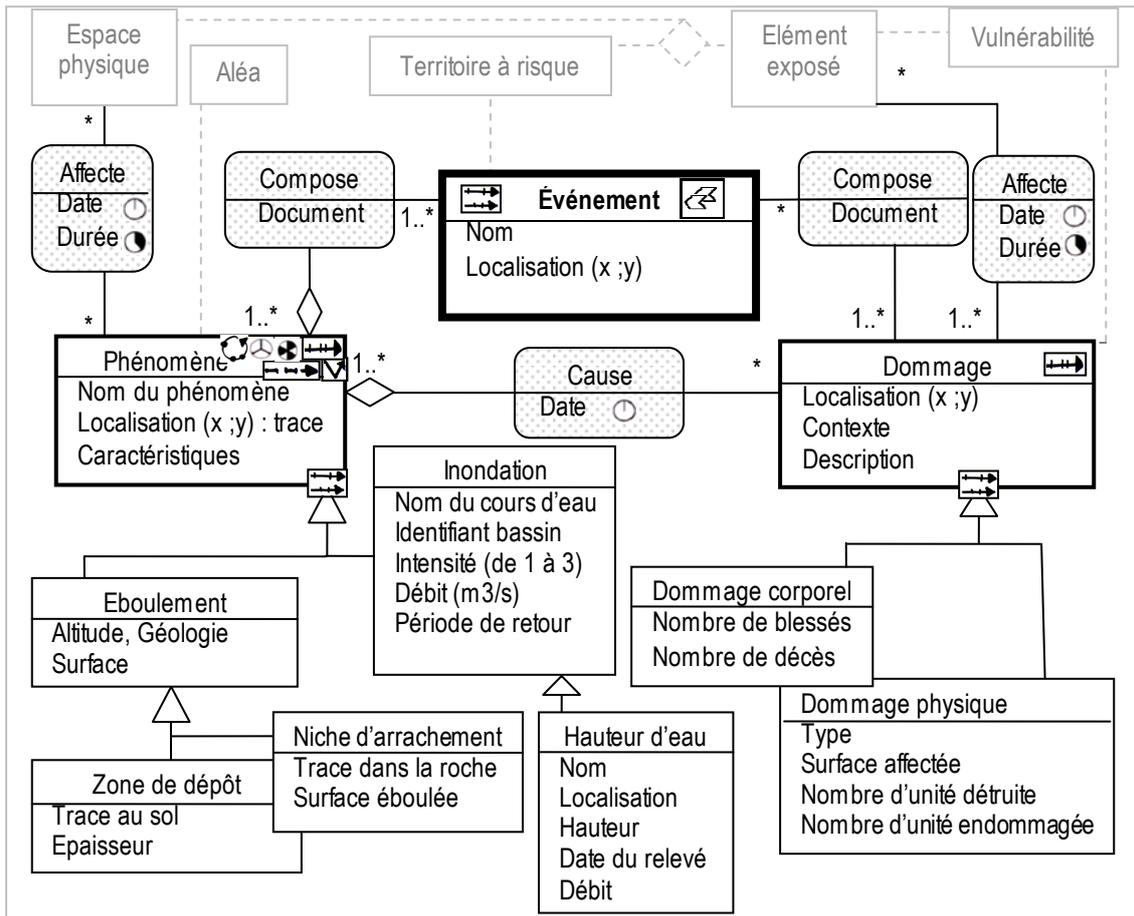
La particularité de notre modélisation de l'information sur les événements est de graviter autour d'une occurrence réelle avec une composante sociale. Toutefois, le diagramme qui suit intègre les notions de risque, de territoire à risques, d'élément exposé et d'espace physique afin de montrer ses extensions possibles (Figure 1). L'événement est composé d'éléments endommagés (ex. personnes, organisations sociales) et de phénomènes physiques (ex. avalanches). Le diagramme est générique à tous les types d'événements issus de risque naturels. De plus, il répond aux objectifs de compréhension et de structuration de l'information sur les événements.

Figure 1. Modélisation générique de l'information sur les événements issus de risque



L'événement se compose d'au moins un phénomène et d'un ou plusieurs dommages provoqués par la déclaration d'un risque dans la réalité. Les dommages et les événements n'existent pas sans l'occurrence d'un phénomène. L'information qui alimente ces trois classes est détaillée dans la figure suivante (Figure 2).

Figure 2. Modélisation détaillée de l'information sur les événements issus de risque



L'information sur les événements issus de risque est composée de l'information sur les dommages causés par un phénomène à une certaine date, et de l'information sur celui-ci. La classe « événement » est qualifiée par un nom (ex. l'avalanche de Montroc) et une localisation (coordonnées géographiques qui dessinent sa trace). Considérant qu'un événement est issu d'une conjonction de temporalités entre l'espace physique et les éléments exposés, cette relation est traduite par un pictogramme « synchronisation » au niveau de la classe « événement » qui en est la résultante. Ce même signe se situe au niveau des classes « phénomène » et « dommages », indiquant des fluctuations de conjonctions temporelles entre les classes héritées (ex. inondations que se sont réalisées en même temps, ou inondations qui se sont réalisées en même temps que les éboulements).

La classe « phénomène » affecte un espace physique à une date et une durée plus ou moins précise. Les attributs sont le nom du phénomène, sa localisation, ses caractéristiques (des renseignements non récurrents qui ne nécessitent pas la création d'une classe mais qui doivent être mentionnés). Dans notre cas, les éboulements et les inondations sont les thématiques des informations récoltées. En effet, leur choix est fonction de l'information récoltée auprès des scientifiques géologues (Frayssine *et al*,

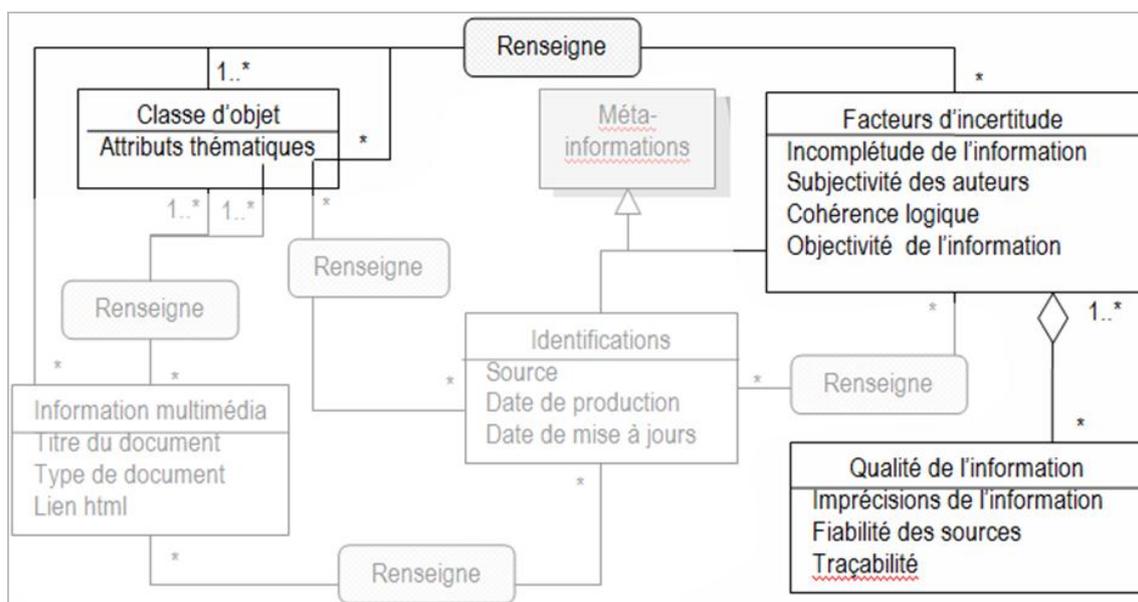
2006) et d'un historien spécialiste des inondations (Cœur, 2003). La classe « éboulement » hérite de la niche d'arrachement (trace dans la roche et surface éboulée) mais également d'une zone de dépôt (trace de l'éboulement sur le sol et épaisseur). La classe « inondation » hérite des hauteurs d'eau relevées en certains points lors de crues et de décrues. La classe « dommage » qui affecte les éléments exposés, hérite de deux types de dommages : corporel et physique.

Ce modèle montre alors les objets qui constituent l'information sur les événements issus de risque. Il intègre la représentation de quelques spécificités à travers les pictogrammes de superposition d'informations et de temporalités. La dernière partie propose un moyen d'intégrer la spécificité de l'incertitude.

3.2 Proposition d'un modèle d'incertitude

La création d'un modèle sur la spécificité de l'incertitude de l'information se réalise au moyen d'un diagramme de classes (Figure 3). Cette extension se greffe sur toutes les classes modélisées dans le diagramme précédent (Figure 2), au niveau de la classe en général (ex. classe « événement ») ou à un niveau plus précis (ex. l'attribut « localisation » de la classe « événement »).

Figure 3. Modélisation de l'incertitude



La modélisation de l'information sur l'incertitude s'intègre à un modèle plus large s'appliquant à la méta-information. Concernant précisément l'incertitude, une classe « facteur d'incertitude » est renseignée par l'incomplétude, la subjectivité des auteurs, la cohérence logique entre les données et l'objectivité de l'information ; mais aussi par aucun ou plusieurs critères de « qualité de l'information » : l'imprécision de l'information, la fiabilité des sources et la traçabilité. La classe « qualité de l'information » est une sous-classe de la classe « facteurs d'incertitudes ». Elle n'existe

pas si la classe « facteur d'incertitude » est absente puisqu'elle constitue un des facteurs.

L'ensemble de ces modèles permet d'organiser l'information sur la notion d'information sur les événements mais également sur l'incertitude dans un but de comprendre et de faciliter la valorisation de l'information et ses spécificités. Par exemple, ces modèles ont permis de structurer l'information dans une base de connaissances d'un outil de géovisualisation. En effet, une étroite collaboration avec des informaticiens a permis de concevoir une plateforme (GenGHIS : Davoine, 2006 ; Moisuc, 2007) qui génère des outils de géovisualisation. Son application aux risques naturels (à travers la génération de Systèmes d'Information dédiée aux Risques Naturels –SIRN-) intègre alors notre modèle « information sur les événements issus de risque », ce qui facilite le stockage de l'information dans la plateforme, mais également, la navigation de l'utilisateur dans l'information cartographiée. Une démonstration de SIRN a été réalisée lors de la présentation du résumé de cet article à la journée « Géorisque 5, 2009 ».

NOTES

1 Un diagramme est la représentation graphique d'un ensemble d'éléments que l'on représente en général par un graphe.

2 « Une classe est une abstraction du monde réel qui regroupe un ensemble d'objets ayant des caractéristiques et des comportements communs » (in Davoine, 2001).

BIBLIOGRAPHIE

Arnaud A. (2006) – Le projet SIHREN. Valorisation de l'information historique des événements naturels : Vers de nouvelles formes de cartographies dynamiques et interactives - 26 p.

Arnaud A. (2003) – Vers de nouvelles spécifications spatio-temporelles pour la valorisation de l'information historique dédiée aux risques naturels - Mémoire de DEA de géographie, IGA, LSR-IMAG, 117 p.

Bédard, Y., Larrivée S., Proulx M.J., Nadeau M. (2004) - Modeling Geospatial Databases with Plug-Ins for Visual Languages: A Pragmatic Approach and the Impacts of 16 Years of Research and Experimentations on Perceptory - *COMOGIS Workshops ER2004, LNCS 3289*, Wang S. et al. (Eds.), pp.17-30.

Béguin M. & Pumain D. (1994) - *La représentation des données géographiques : statistique et cartographie* - Armand Colin, édition Cursus, 192p.

Book G., Rumbaugh J., Jacobson I. (2003) - *Le guide de l'utilisateur UML* - Eyrolles, Paris, 500p.

- Brunet R., Ferras R., Thery H. (1993) - *Les mots de la géographie. Dictionnaire critique* - Reclus, La documentation Française, Collection dynamiques du territoire, 518p.
- Buttenfield, B. (1994) - Representing data quality - *Cartographica* vol. 30(2&3), *Special content, Mapping Data Quality*, pp.1-7.
- Cauvin C., Escobar F., Serradj A. (2007) - *Cartographie Thématique 1, une nouvelle démarche* - Hermes Science, Lavoisier, Paris, 280p.
- Cœur D., Lang M., Facy J. (2003) - Un outil pour le développement de la mémoire des inondations : le projet de borne d'information sur les crues historiques (BICH) sur la Saône à Lyon - *Ingénieries-EAT*, n°spécial « Risques naturels et aménagement du territoire », Cemagref, pp. 33-36.
- Davoine P-A. (2006) - SIHREN : Conception de systèmes d'information spatio-temporelle dédiés aux risques naturels - *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 16/3-4, pp.377-394.
- Decrop G. (1997) - *De l'expertise scientifique au risque négocié : le cas du risque en montagne* - Longjumeau : Cemagref Edition.
- DiBiase D., MacEachren A-M., Krygier J. B., Reeves C. (1992) - Animation and the role of map design in scientific visualisation - *Cartography and Geographic Information Systems*, vol. 19 (4), pp.201-214.
- Frayssines M. & Hantz D. (2006) - Failure Mechanisms and Triggering Factors in Calcareous Cliffs of the Subalpine Ranges (French Alps) - *Engineering Geology*, vol. 86 (4), Aug 2006, pp.256-270.
- Griethe H. & Schumann H. (2006) - The Visualization of Uncertain Data: Methods and Problems - *Proceedings of Simulation and Visualization*, Magdeburg, Germany, 14p.
- Hewitt K. (1983) - The Idea of Calamity in a Technocratic Age - *Interpretation of Calamities*, Hewitt K. (ed.), *The risks and hazards series n°1*, Allen & Unwin Inc., Boston, pp.3-32.
- INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique) (1999) - *Manuel Utilisateur du Noyau AROM* - Projet Sherpa, INRIA Rhône-Alpes. 23p. & - *UML / AROM Mapping User Guide* - Projet Sherpa, INRIA Rhône-Alpes. 17p.
- ISO/TC 211 : <http://www.isotc211.org/scope.htm>
- Lang M., Cœur D., Brochot S., Naudet R. (2003) - Information historique et ingénierie des risques naturels. L'Isère et le torrent du Manival - *Etudes : gestion des milieux aquatiques*, n°18, Cemagref édition, 180p.
- MacEachren A-M. (1994) - Time as a cartographic variable - *Visualization in Geographic Information Systems*, Unwin D.J. Hearnshaw H.M. (Eds.), Wiley, pp.115-130.

Moisuc B. (2007) - *Conception et mise en œuvre de systèmes d'informations spatio-temporels adaptatifs : le framework ACTIS* - Thèse de doctorat UJF, 192p.

Napoli A. (2003) - Formalisation des connaissances et contribution du langage de modélisation UML : Application à l'aide à la modélisation du comportement des incendies de forêt ». *Systèmes d'Information et Risques Naturels*. Ecole des Mines de Paris, Les Presses, pp.1-21.

Norme 19113 : http://eden.ign.fr/std/iso_19113

Norme ISO 8402 : http://www.jalix.org/ressources/miscellaneous/~vrac/SI/ISO/#_Toc41087330

Page M., Gensel J., Capponi C., Bruley C., Genoud P., Ziebelin D., Bardou D., Dupierris P. (2001) - A New Approach to Object-Based Knowledge Representation: the AROM System - *Lecture Notes in Artificial Intelligence*.

Pornon H. (1992) - *Les SIG, mise en œuvre et applications* - Hermes, Paris, 158p.

Proulx M-J., Larrivée S., Bédard Y. (2002) - *Représentation multiple et généralisation avec UML et l'outil Perceptory, Généralisation et Représentation multiple* - Hermes, Chapitre 6, pp.113-129.

Rolland-May C. (2000) - *Evaluation des territoires : concepts, modèle, méthodes* - Paris, Hermes, 381p.

Rumbaugh J., Jacobson I., Booch G. (1998) - *The Unified Modeling Language Reference Manual*, Addison-Wesley.

Skeels M., LEE B., Smith G., Robertson G. (2007) - *Revealing Uncertainty for Information Visualization* - Microsoft Research, 8p.

Spaccapietra S., Parent C., Zimányi E. (2007) - Spatio-Temporal and Multi-Representation Modeling: A Contribution to Active Conceptual Modeling - *Active Conceptual Modeling for Learning, LNCS*. Springer, 12p.

Thomson J., Hetzler E., MacEachren A., Gahegan M., Pavel M. (2005) - A typology for Visualizing Uncertainty - *Proc. SPIE & IS&T Conf. Electronic Imaging*, vol. 5669: *Visualization and Data Analysis*, pp.146-157.

Vangenot C., Parent C., Spaccapietra S. (2002) - Chapitre 5: Modélisation et manipulation de données spatiales avec multireprésentation dans le modèle MADS - *Généralisation et représentation Multiple, Traité Information Géographique et Aménagement du Territoire IGAT*, Hermès, pp.81-94.

ILLUSTRATIONS

Carte 1. Représentation ponctuelle d'événements sismiques

Figure 4. Modélisation générique de l'information sur les événements issus de risque

Figure 25. Modélisation détaillée de l'information sur les événements issus de risque

Figure 3. Modélisation de l'incertitude

Tableau 1. Pictogrammes de modélisation de quelques temporalités