

Vers une ontologie des risques et des catastrophes : le modèle conceptuel

Damienne Provitolo, Edwige Dubos-Paillard, Jean-Pierre Müller

► **To cite this version:**

Damienne Provitolo, Edwige Dubos-Paillard, Jean-Pierre Müller. Vers une ontologie des risques et des catastrophes : le modèle conceptuel. Ontologie et dynamique des systèmes complexes, perspectives interdisciplinaires, Jan 2009, Rochebrune (Megève), France. pp.1-16. halshs-00643597

HAL Id: halshs-00643597

<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00643597>

Submitted on 22 Nov 2011

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.

Vers une ontologie des risques et des catastrophes : le modèle conceptuel

D. Provitolo

*UMR 6526 Géoazur, CNRS, 250 Rue A. Einstein, 06560 Valbonne,
damienne.provitolo@geoazur.unice.fr*

J.P. Müller

*CIRAD, Campus international de Baillarguet, 34398 Montpellier cedex 5,
jean-pierre.muller@cirad.fr*

E. Dubos-Paillard

*UMR 6049 ThéMA, CNRS, Université de Franche-Comté, 32 rue Mégevand, 25030
Besançon, edwige.dubos-paillard@univ-fcomte.fr*

Résumé. Nous présentons une ontologie formalisée du domaine des risques et des catastrophes. Il s'agit essentiellement d'une ontologie conceptuelle qui permet de décrire les connaissances du domaine. Dans cette ontologie, nous distinguons la terminologie utilisée pour décrire ce qui s'est passé en dehors de toute prise de position (par exemple, il y a eu 30 morts à la suite d'une inondation), de la qualification de ce qui s'est passé (c'est un accident, une catastrophe) du point de vue des différents acteurs du système. L'objectif est de revenir sur les concepts essentiels permettant de caractériser l'événement, le risque, l'accident, la catastrophe et les notions associées, et d'organiser ces concepts entre eux par des relations. Si l'exercice semble *a priori* simple, la prise en compte de la représentation des différents types d'acteurs concernés complexifie notablement ce que recouvrent le risque et la catastrophe. Il s'agit donc de fournir un cadre conceptuel utilisable pour l'analyse de différents types d'événements, qu'ils soient localisés ou diffus, d'origine naturelle, industrielle/technologique ou sociale. Cette ontologie ambitionne également d'être adaptée pour étudier les événements à différentes échelles (micro, méso, macro). Le modèle conceptuel du domaine des risques et des catastrophes a été réalisé à partir des diagrammes de classe d'UML (Unified Modelling Language).

Mots clef : ontologie, risque, catastrophe, représentation, acteur

Le domaine des risques et des catastrophes a fait l'objet de nombreux travaux portant sur les concepts [Dauphiné, 2003, D'Ercole *et al.*, 1994, Gilbert, 2006 ; Kervern, 1995 ; Leone, 2008 ; November, 2006 ; Pigeon, 2005 ; Provitolo, 2007 ; Uitto, 1998 ; Veyret, 2004 ; Wisner, 1999] et sur l'analyse de catastrophes.

Dans cet article, nous proposons de nous situer à l'interface de ces deux approches, l'une conceptuelle, l'autre appliquée, en abordant la construction d'une ontologie formalisée du domaine des risques et des catastrophes. L'exercice est complexe car notre ambition est de proposer un modèle conceptuel utilisable pour l'analyse de

différents types d'événements, à différentes échelles. Ceci, afin de faciliter les mises en perspective d'événements différents ayant *a priori* peu d'éléments communs, et de proposer une méthodologie d'aide à la comparaison d'événements.

Le modèle conceptuel proposé est également un moyen de mieux appréhender la représentation de ces événements. Dans cette analyse, nous faisons l'hypothèse que les notions de risques et de catastrophes, ainsi que bien d'autres notions associées, sont de l'ordre des jugements, des évaluations que se font les acteurs des événements passés ou possibles. Cette hypothèse permet de prendre en compte des représentations différentes selon les acteurs en fonction de leurs critères et donc d'analyser leurs éventuelles incohérences.

L'article s'articule en deux parties. Dans la première, nous précisons tout d'abord l'intérêt de l'élaboration d'une ontologie du domaine des risques et catastrophes et nous décrivons un exemple illustratif relatif à un tremblement de terre. Puis, dans la deuxième partie, nous présentons le modèle conceptuel du domaine des risques et des catastrophes.

1. De l'intérêt de l'élaboration d'une ontologie du domaine des risques et des catastrophes à la présentation d'un exemple illustratif

1.1. L'apport d'une ontologie du domaine des risques et des catastrophes

En informatique, une ontologie se définit comme une spécification de la conceptualisation d'un domaine [Grüber, 1993]. Dans notre cas, le domaine est celui des risques et des catastrophes et nous en proposons la spécification. La représentation formalisée proposée est composée d'un ensemble de concepts structurés par des relations sémantiques et taxinomiques que nous appellerons modèle conceptuel. Ce modèle est représenté par des diagrammes de classe d'UML (Unified Modelling Language) [Bommel et Müller, 2007]. Dans ce papier, notre objectif n'est pas de faire la description de situations concrètes mais de proposer un cadre directeur basé sur l'identification des concepts importants du domaine, la clarification des relations entre les objets pour permettre une standardisation des langages pour traiter des risques et des catastrophes d'origine naturelle, technique/technologique, sociale ou épidémiologique, localisés ou diffus. Nous souhaitons également faciliter la discussion, l'échange de points de vue entre les disciplines. Cette ontologie formalisée pourrait donc être un outil de communication entre les disciplines.

Le risque et la catastrophe sont des objets pluridisciplinaires, aux définitions multiples [Y. Veyret, 2004]. Nous nous limitons ici à une définition relativement générale de ces deux concepts. Le risque est un événement qui pourrait se réaliser. Il peut ainsi être quantifié à partir de séries statistiques, ou non quantifié en l'absence de séries statistiques. La catastrophe est bien réelle, au sens où l'événement s'est produit, où il possède une durée et une intensité et peut être daté, spatialisé, évalué par les dommages engendrés. Dans ce papier, les catastrophes sont entendues au sens

de désorganisation sociale et spatiale des territoires et des sociétés affectés par un événement perturbateur.

L'objectif de ce papier est donc de proposer un cadre conceptuel qui peut être appliqué à différentes études de risques et de catastrophes réalisées par des chercheurs et des acteurs aux « background » distincts. C'est pourquoi, l'approche systémique est retenue comme clé d'entrée pour réaliser l'ontologie du domaine des risques et des catastrophes.

Une première instanciation de l'ontologie proposée en deuxième partie est réalisée à partir de l'exemple de risque de catastrophe présenté ci-après.

1.2. Un exemple d'effets de dominos déclenchés lors d'un séisme

L'exemple intitulé « *Effets de dominos déclenchés lors d'un séisme* » (Fig. 1) est un risque d'enchaînement de catastrophes naturelles et technologiques qui pourrait se déclencher à la suite d'un séisme à Tokyo [Hadfield, 1991]. Ce scénario sert de support à la mise en œuvre de l'ontologie et de premier test de robustesse.

Réalisé à partir d'un diagramme d'objet, cet exemple met en scène quatre éléments, que sont respectivement une faille, une digue, une vallée et une personne ainsi que quatre événements liés par des relations de causalité : un glissement de faille (événement 1) entraînant une rupture de digue (événement 2) générant alors une inondation (événement 3) et une atteinte aux personnes (événement 4). L'atteinte aux personnes peut être physique, psychologique etc. Les quatre événements sont liés par des relations de causalité et portent sur les éléments. Les éléments sont en effet la « matière » dans laquelle les événements viennent s'inscrire. Les liens de causalité (relation causale), d'action sur (porte sur) sont donc les deux liens à instancier.

Les quatre éléments peuvent changer de statut lors du déroulement de l'événement et peuvent ainsi être qualifiés tour à tour de source ou de cible. La relation entre éléments (au sens où il y a l'action d'un élément sur un autre) résulte de la composition des relations « porte sur » et « relation causale ». Relativement à notre exemple, lors du tremblement de terre, une digue, qui, via l'événement glissement de faille, est la cible de la faille devient en revanche la source de danger pour la vallée. Ainsi, une inondation porte sur la vallée (zone inondable) qui est la cible d'une digue et la source de danger pour les personnes.

De même que tout élément est une source ou une cible, tout événement est une cause ou un effet. Une perturbation est alors un cas particulier de cause, de même qu'un accident est un cas particulier d'effet (Fig. 6). Dans notre exemple, un glissement de faille (événement 1) est une perturbation qui cause une rupture de digue (événement 2) qui déclenche une inondation (événement 3) à l'origine d'une atteinte aux personnes (événement 4). Dans cet exemple, l'événement 2 est à la fois une cause et un effet. Il est une cause au sens où il est la perturbation dérivée du glissement de faille (perturbation d'origine) et un effet au sens où la rupture de digue produit un accident. Un effet est qualifié d'accident quand il produit des dommages. Ainsi un événement peut être tour à tour qualifié de perturbation ou d'accident.

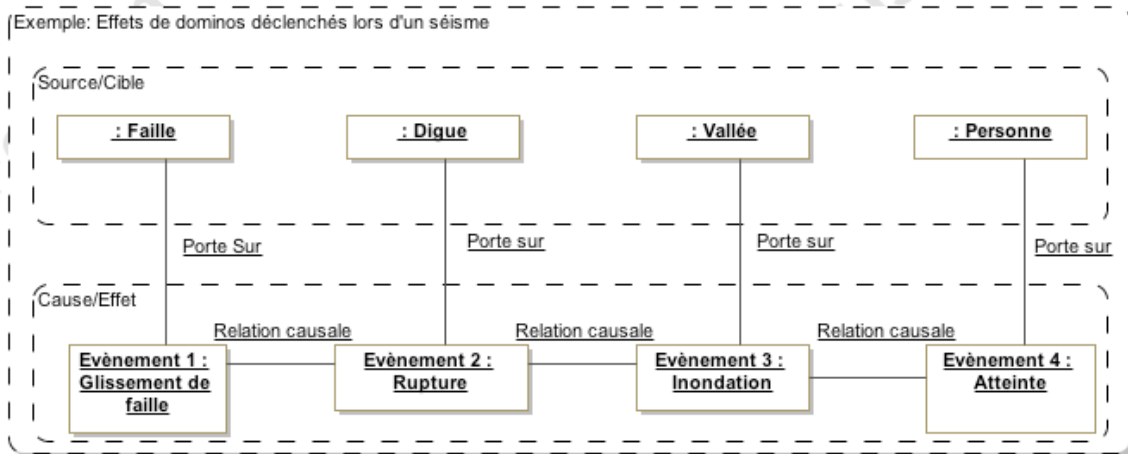


Figure 1 : Un exemple d'effets de dominos déclenchés lors d'un séisme

2 Découpage systémique du modèle conceptuel en sous-systèmes et relations entre concepts

Pour construire cette ontologie, nous avons retenu deux approches :

- l'approche systémique : clef d'entrée pour réaliser le méta modèle, cette approche permet de dépasser les approches disciplinaires ;
- l'approche ontologique : le modèle conceptuel a été représenté par des diagrammes de classe d'UML [Cranefield and Purvis, 1999].

Ce méta modèle est un système constitué de quatre sous-systèmes (Fig 2) :

- la *Structure* identifie les éléments pertinents à l'analyse d'un système soumis à des événements ;
- la *Dynamique* identifie les éléments constituant un déroulement effectif d'événements ;
- l'*Acteur* énumère les parties prenantes du système ;
- la *Représentation* permet pour chaque acteur d'explicitier ses catégories d'analyse des éléments et des événements. Ce sous-système est composé : du *Référentiel conceptuel de l'acteur* et de la *Qualification d'une situation*.

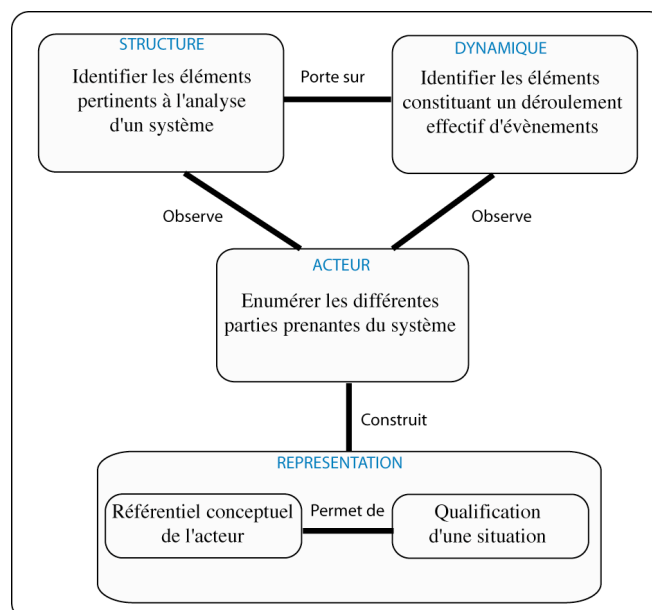


Figure 2 : Découpage systémique du méta modèle en quatre sous-systèmes

2.1 La structure du système

La *Structure* identifie les éléments pertinents à l'analyse d'un système soumis à des événements. Les éléments sont donc les parties qui constituent la structure du système (Fig. 3). Ce système est ouvert sur son environnement (au sens systémique du terme). Il est donc également composé d'éléments exogènes qui sont, par définition, en dehors du champ d'étude. La classe « Élément » généralise les classes « Élément vivant », « Élément physique », « Organisation » et « Infrastructure ». Pour définir les termes précédemment énoncés :

- l'élément vivant regroupe l'ensemble des humains et des populations naturelles, telles les plantes et les animaux ;
- l'élément physique correspond à la description de la surface de la terre (océanographie, hydrographie, pédologie, relief...) et ne s'intéresse pas directement aux activités humaines ;
- l'organisation est une structure permettant de répondre à des besoins et d'atteindre des objectifs déterminés. L'organisation intègre les systèmes de prévention et de gestion des événements.
- les infrastructures diverses englobent le bâti, les équipements, les réseaux.

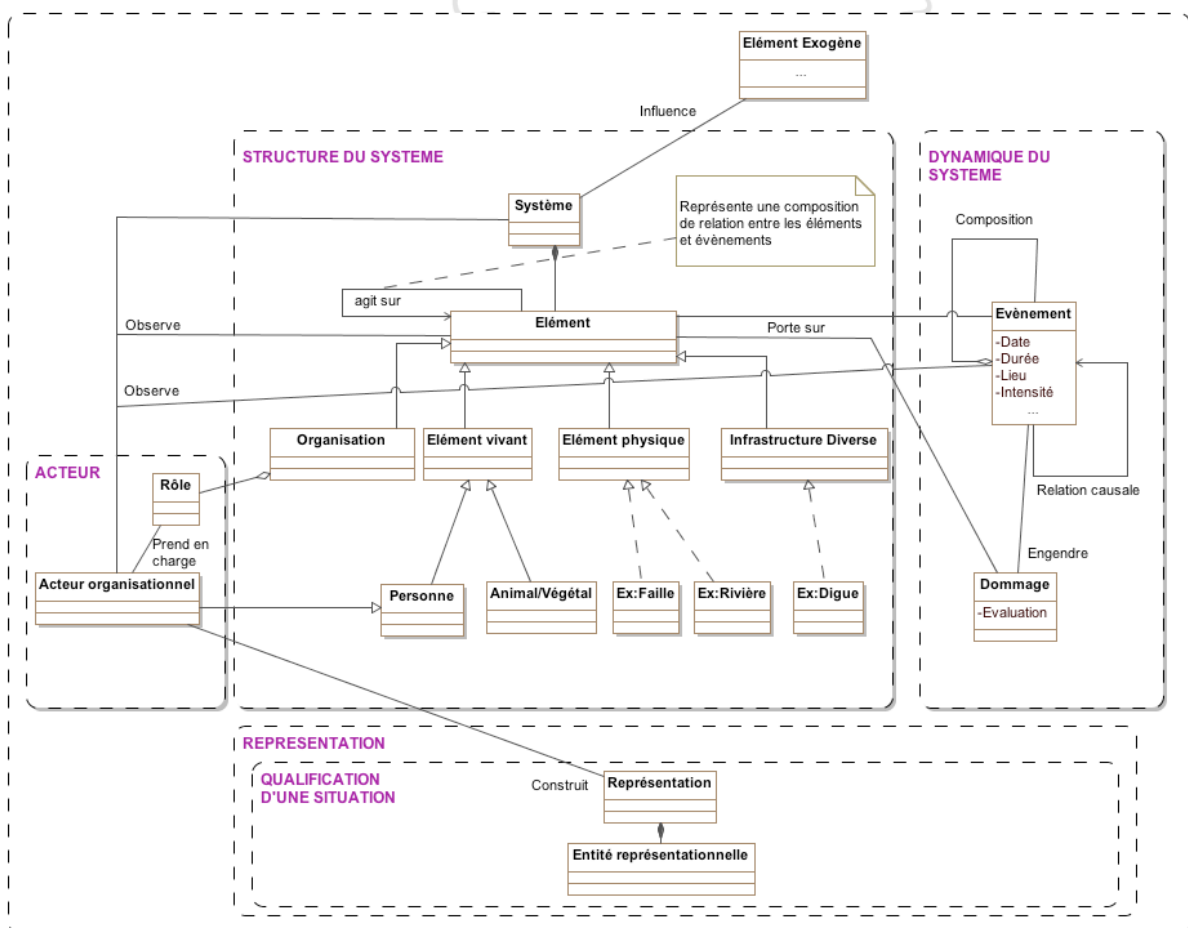


Figure 3 : La structure du système et ses relations avec les sous-systèmes Dynamique, Acteur et Représentation

La structure du système est en relation avec les sous-systèmes « dynamique » et « acteur » : avec l'acteur car l'acteur organisationnel prend en charge des rôles

définis par l'organisation ; avec la dynamique car les événements de même que les dommages portent sur la classe « élément ».

2.2 La dynamique du système

De même que la structure du système se compose d'éléments, la dynamique du système (Fig. 4) se compose de structures élémentaires que sont les événements.

L'événement peut causer un autre événement et porte sur des éléments du système. Les événements sont donc liés entre eux par des relations de causalité qui s'effectuent via les éléments. La relation « porte sur » permet d'établir le lien, le rouage entre événement et élément. Les éléments ne sont en effet rien d'autres que la « matière » dans laquelle les événements viennent s'inscrire.

L'événement est un fait qui survient en un moment et un lieu donné. Il peut donc être daté et localisé, il a une durée de vie, et a une certaine intensité (ce sont ses attributs). L'événement est une occurrence d'un type d'événement. Ce dernier est qualifié par la perturbation. Un type d'événement peut être d'origine naturelle, technologique, sociale, sanitaire etc. Chacune de ces catégories peut ensuite être décomposée en sous-catégories. L'événement peut également être probable ; il correspond alors à un risque, quantifié (à partir de séries statistiques) ou non quantifié (absence de séries statistiques). Le risque non quantifié est un risque dont on ne peut mesurer ni le temps de retour ni la probabilité de réapparition, car l'événement (qui concrétise le risque) ne s'est jamais ou que très rarement produit. Ce risque ne peut pas être daté, mais on peut faire des hypothèses sur sa durée et sur le lieu où il pourrait se produire.

Comme le montre l'exemple présenté en première partie, il peut y avoir une chaîne de causalité entre événements. Cette chaîne de causalité correspond aux effets dominos bien souvent cités dans la littérature sur les risques et les catastrophes, notamment par [Bak, 1996 ; Blaikie *et al.*, 1994 ; Chaline et Dubois Maury, 2004 ; Provitolo, 2005, 2007, 2009 ; Daudé *et al.*, 2009].

Enfin, l'événement peut engendrer des dommages de différentes natures et en quantité variable. Les dommages portent sur les éléments, ce qui explique que la classification des dommages est calquée sur celle des éléments. Les classes intitulées « dommage humain », « dommage aux espèces et au fonctionnement des écosystèmes », « dommage matériel », « dommage au système social » et « dommage au patrimoine » spécialisent la classe « Dommage ». Ces dommages peuvent faire l'objet de quantifications ou de descriptions littéraires. Ils sont le plus souvent définis en terme humain ou matériel. Mais ils peuvent également porter sur les systèmes économiques et financiers et sur le patrimoine.

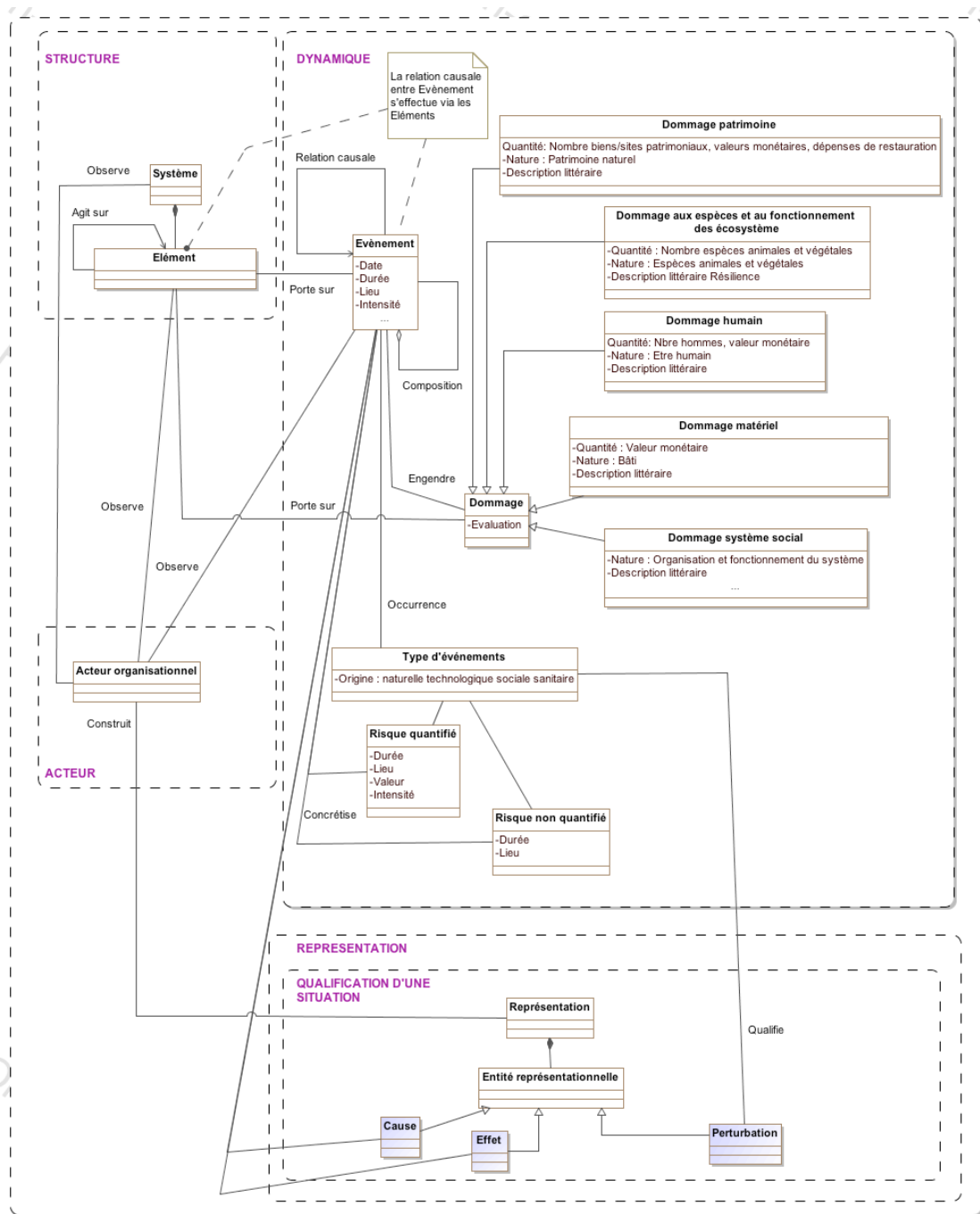


Figure 4 - La dynamique du système et ses relations avec les sous-systèmes Structure, Acteur et Représentation

2.3. Le système Acteur

Le système *Acteur* permet d'énumérer les différentes parties prenantes du système, notamment en matière de prévention des risques et/ou de gestion des catastrophes. Ce système aurait pu être intégré dans la structure du système. Le choix de l'individualiser reflète le parti de s'intéresser aux représentations des acteurs. Les acteurs organisationnels sont des groupes structurés de personnes qui ont un rôle au sein d'une organisation. On distingue : les acteurs de l'organisation des secours et de la mise en place de plans particuliers de sûreté (maire, préfet, chef d'établissement...), les services opérationnels (CODIS, SDIS, SAMU, les médecins formés à la « médecine de catastrophe »...), les services de l'Etat qui sont acteurs de

la prévention des risques (DRIRE, DIREN, DDE, DAF, DSDS pour la France etc.), les experts, les assureurs, les législateurs, les communicateurs, les associations etc.

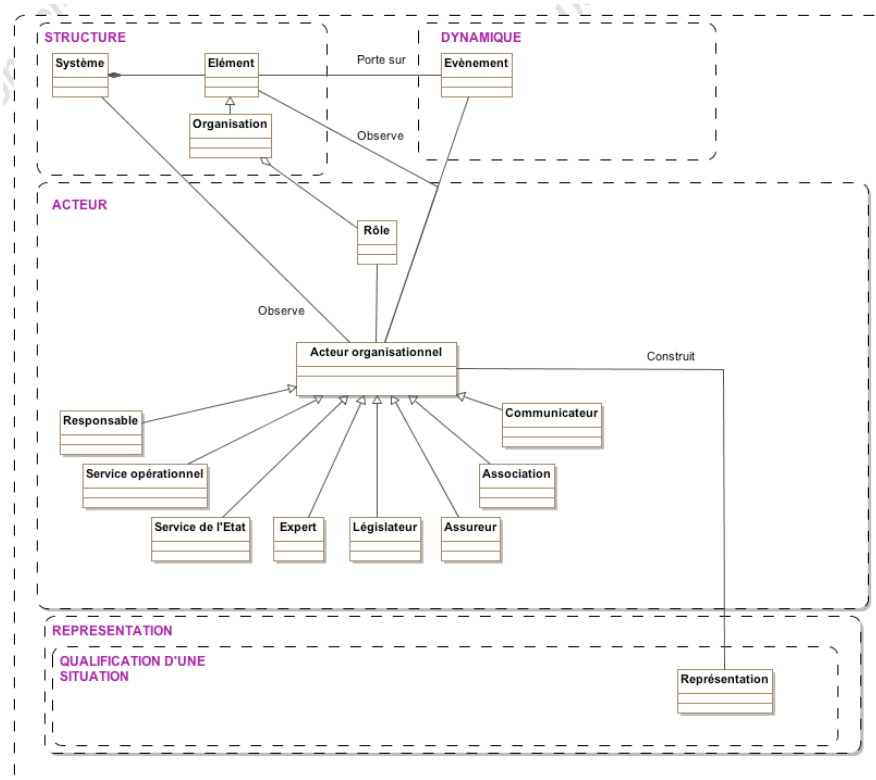


Figure 5 : Les acteurs et leurs relations avec les sous-systèmes Structure, Dynamique et Représentation

L'acteur observe les éléments et les événements et construit des représentations à partir de ses observations. Ces représentations vont permettre de qualifier une situation à partir d'un référentiel conceptuel.

Dans un travail ultérieur, nous souhaitons intégrer les différentes missions et actions dévolues aux acteurs, notamment en termes de prévention, de gestion et de communication de crise. Cette piste de recherche s'intéressera donc davantage aux rôles des actions sur le système (par exemple, des actions préventives portant sur la délimitation de zone où l'urbanisation est interdite ou réglementée modifieront l'exposition des éléments et donc leur vulnérabilité) qu'à la capacité de coordination et d'interopérabilité des acteurs. La coordination des actions des acteurs organisationnels a en effet déjà été analysée *via* une ontologie de caractérisation de situation de crise [Bénaben *et al.*, 2008].

2.4 Représentations

Le système *Représentation* permet à chaque acteur d'explicitier ses catégories d'analyse des éléments du système et des événements qui s'y déroulent. On distingue :

- la qualification d'une situation à l'aide de ce cadre conceptuel ;
- le référentiel conceptuel qui définit les notions et les critères qu'utilise l'acteur pour qualifier une situation.

La qualification d'une situation

La qualification d'une situation s'effectue à partir de la représentation portée par l'acteur sur les éléments et les événements du système (Fig. 6).

Dans la caractérisation d'un événement ayant eu lieu ou étant probable (risque), l'observateur possède une représentation des éléments du système. Ces éléments peuvent être qualifiés d'élément vulnérable, de danger, de source et de cible. Le lien entre élément et élément vulnérable s'effectue par composition des différentes relations qui passent par le canal de la représentation. Les classes « source » et « cible » sont liées de façon indirecte par la classe Médiateur de l'interaction qui permet de matérialiser les interactions entre elles [Langlois, 2007]. Une source peut ainsi devenir une cible et *vice-versa*. La classe « source » généralise la classe « danger » tandis que la classe « cible » généralise la classe « élément vulnérable ». La qualification de source en danger et de cible en élément vulnérable se fait selon les critères qui relèvent du référentiel conceptuel de l'acteur concerné. Cette qualification peut donc varier en fonction des acteurs.

L'originalité de cette conception est de permettre à tout élément « d'endosser » différentes fonctions, celle de source pour l'élément danger, celle de cible pour l'élément vulnérable.

L'observateur possède également une représentation des événements du système qui portent sur les éléments. Ces événements peuvent être qualifiés de perturbation, d'accident, de catastrophe, d'effet ou de cause. Le terme de perturbation, comme tous les termes en *ion*, englobe à la fois les processus et les résultats de ces processus (c'est-à-dire les aléas). Ce terme de perturbation est préféré à celui d'aléa car il permet à la fois d'embrasser les risques ponctuels (un tsunami) et graduels (la désertification) [Magnan, 2009]. Une perturbation peut donc être un événement spécifique comme un séisme, un tsunami, ou au contraire un processus à dynamique lente ou rapide. Les perturbations peuvent avoir une origine naturelle ou être le résultat d'activités humaines (impact des systèmes socio-économiques sur l'émission de gaz à effet de serre, cause principale du réchauffement climatique).

Il y a une chaîne de relation entre les classes Perturbation, Type d'événement, Evènement, Cause et Effet (Fig. 6). En effet, la perturbation qualifie le type d'événement qui nomme l'occurrence d'un événement, et ce dernier peut être une cause ou un effet. On distingue la cause, l'effet et l'expression d'une relation causale entre la cause et l'effet. Prenons un exemple : un événement X provoque un événement Y. X est la cause, « provoque » est l'expression de la relation causale, Y est l'effet. Il y a ainsi une relation indirecte entre les classes Perturbation et Effet. L'événement est donc une cause ou un effet, selon sa situation dans la chaîne de causalité.

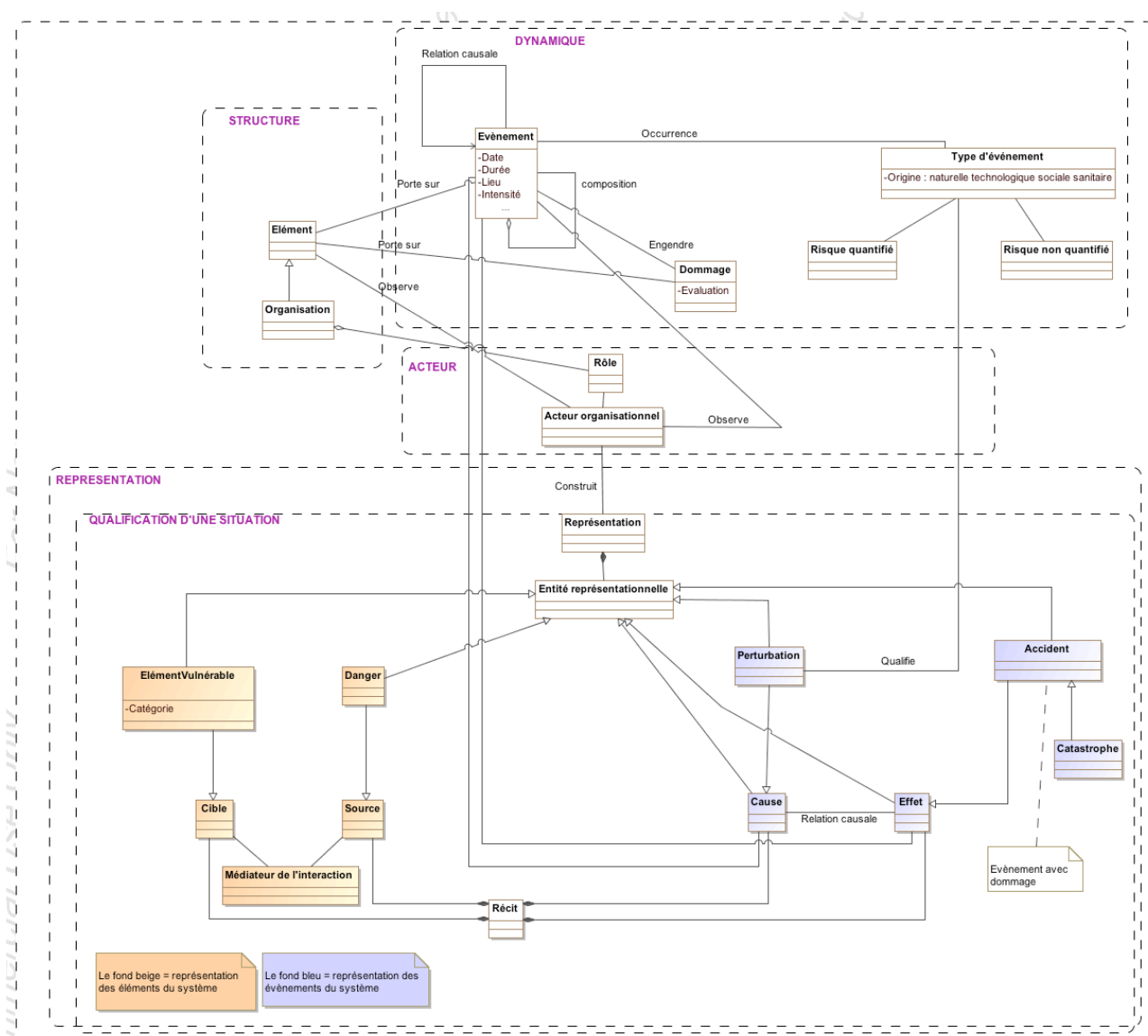


Figure 6 - Qualification d'une situation et relation avec les sous-systèmes Structure, Dynamique et Acteur

De même, un accident est un cas particulier d'effet si l'événement considéré produit des dommages. Les dommages déterminent l'accident quand il s'agit de décrire et quantifier des pertes effectives et définissent le risque quand il s'agit de décrire ou quantifier des pertes potentielles. En fonction de l'importance des dommages, l'acteur va qualifier l'événement d'accident ou de catastrophe sur la base de critères (seuil de dommages, intensité d'une perturbation) (Fig. 7). Tout événement n'est donc pas un accident et tout accident n'est pas une catastrophe.

Le récit permet d'articuler entre elles les notions de source, de cible, de cause et d'effet. Dans le récit, il y a des effets narratifs dans la façon de retranscrire et d'agencer les événements entre eux. Il peut donc être intéressant de comparer les observables effectifs, le récit qu'on en fait (le passage par l'acteur des observables à leur représentation) et les récits de plusieurs acteurs entre eux. En effet, le récit peut être plus ou moins décalé par rapport aux observables en raison de différents biais qui peuvent intervenir : mise en scène de l'événement, effets narratifs, perceptions etc. Dans ce papier, nous nous attacherons à l'explicitation du référentiel interprétatif.

Le référentiel conceptuel de l'acteur

L'accident, la catastrophe, la perturbation, l'élément vulnérable font l'objet de représentations portées par l'acteur sur la situation. Le référentiel conceptuel de l'acteur permet de qualifier une situation (Fig. 7).

On distinguera les critères permettant de définir une perturbation, de considérer qu'un accident est une catastrophe, qu'un élément est vulnérable et enfin les critères d'acceptabilité de l'accident, du risque quantifié ou non quantifié.

Une perturbation est caractérisée par différents attributs : sa nature, sa fréquence, son intensité, sa durée et sa localisation. Les critères de seuil de dommages ou d'intensité anormale d'une perturbation permettent de considérer qu'un accident (et donc un événement ayant produit des dommages) est une catastrophe.

Trois critères permettent de considérer qu'un élément est vulnérable. Il s'agit des notions d'exposition, de sensibilité et de résilience [Pelling, 2003]. Ces notions étant polysémiques, nous utilisons ici les définitions les plus usitées. Dans le domaine des risques et des catastrophes, l'exposition est le plus souvent définie en fonction du type d'événement, de son intensité et des éléments du système soumis à la perturbation [Adger, 2006]. L'espace peut être par exemple identifié comme plus ou moins exposé à l'événement en fonction de la distance séparant la cible de la source de danger. La sensibilité se réfère à la réactivité du système, comme l'alerte précoce, et à sa capacité de résistance [Luers, 2005], celle par exemple de la résistance physique du bâti lors d'un séisme. Enfin, la résilience peut se définir comme la capacité d'un élément à se remettre d'une perturbation [Klein *et al.* 2003 ; Timmerman, 1981].

Enfin, les critères d'acceptabilité permettent de statuer sur l'acceptabilité de l'accident et du risque. L'acceptabilité est une construction sociale [Douglas et Wildavsky, 1982], qui varie selon les acteurs et leurs critères de choix.

L'acceptabilité est donc vue sous l'angle des perceptions individuelles, de la question sociale (sentiment de sécurité face à l'accident et légitimité de l'égalité face aux événements), de la question culturelle (culture de la fatalité ou de la science), de la question de l'équité (revendication de l'égalité face aux catastrophes, préoccupations éthiques).

Les acteurs ont également une représentation du risque acceptable. En France, de même que dans de nombreux pays de l'Europe, le risque accepté est mal défini par la loi. De même que pour un accident, les pays décident de l'acceptabilité du risque à partir de paramètres nationaux. Ces derniers sont relatifs aux perceptions individuelles, aux facteurs sociaux et culturels, à l'éthique et l'équité, à la gravité des dommages. L'acceptabilité du risque agit sur le choix d'exposition ou non à la perturbation [Gilbert, 2003] et sur la mise en place de mesures visant à réduire l'exposition au risque et les effets de ce dernier.

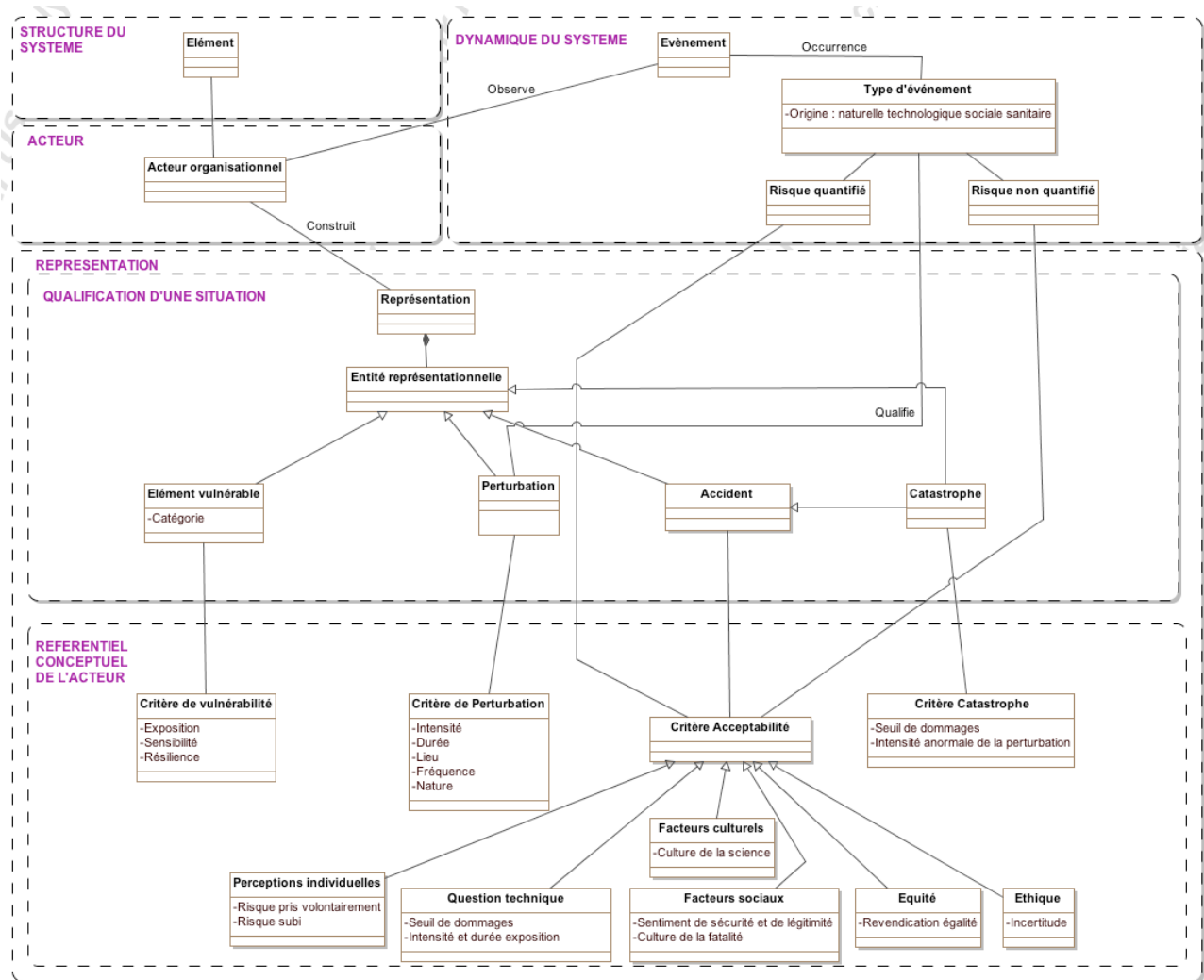


Figure 7 : Référentiel conceptuel de l'acteur

3. Conclusion

Cet article présente notre premier travail de réflexion sur la construction d'une ontologie formalisée du domaine des risques et des catastrophes. La réalisation du modèle conceptuel a permis d'identifier, de clarifier et de décrire les concepts liés à un domaine et les relations entre ces concepts, permettant ainsi de dessiner l'ensemble du « ciel sémantique qui éclaire un domaine ». Cet éclairage participe à unifier l'usage et le sens des termes relevant du domaine d'étude concerné et de nuancer les liens entre les différents concepts. Cette ontologie peut donc être un outil de communication entre acteurs.

De plus, le rôle des différents concepts du domaine dans la réalisation de l'accident ou de la catastrophe a pu être spécifié.

Enfin, la construction de ce modèle a permis de replacer les acteurs et leurs représentations dans le système. Les notions d'accident, de catastrophe, d'éléments vulnérables ainsi que bien d'autres notions associées, sont en effet de l'ordre de la représentation que se font les acteurs des événements. Ce modèle conceptuel pourrait donc servir de cadre à une analyse des risques et catastrophes mettant en scène des acteurs différents dont l'usage et le sens attribué aux termes diffèrent.

Toutefois, ce modèle conceptuel présente également des points faibles. L'une des limites est relative à l'instanciation de l'ontologie. La diversité des risques et des catastrophes, tant dans leur nature que leur temporalité et spatialité, amène en effet à s'interroger sur la robustesse de ce modèle conceptuel. Il conviendra donc dans un travail ultérieur de tester le modèle conceptuel à partir de l'instanciation d'une catastrophe passée ayant par exemple fait l'objet d'un ou de plusieurs récits. Cette instanciation permettra de plus de finaliser l'ontologie du domaine des risques et des catastrophes.

La deuxième limite est relative à l'absence de prise en compte des actions des acteurs. Ces actions peuvent avoir trait notamment au domaine de la prévention individuelle ou collective et à la gestion de catastrophe. Relativement à nos perspectives de recherche, nous souhaitons donc intégrer, dans le modèle conceptuel sus présenté, un sous-système relatif aux actions des acteurs et leurs effets sur le système et ses représentations.

Références

- W.N. Adger. (2006) « Vulnerability ». *Global Environmental Change*, 16 (3), p. 268-281.
- P. Bak. (1996) *How Nature Works*. Springer-Verlag New York.
- F. Benaben, C. Hanachi, L. Matthieu, P. Couget, V. Chapurlat. (2008) « A Metamodel and its Ontology to Guide Crisis Characterization and its Collaborative Management ». Proceedings of the 5th International Conference on *Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM)*, Washington, DC, USA, May 4-7.
- P. Blaikie, T. Cannon, I. Davis, B. Wisner. (1994) *At risk : natural hazards, people's vulnerability and disasters*. London New York, Routledge.
- P. Bommel, J.P. Müller. (2007) « An Introduction to UML for Modelling in the Human and Social Science ». in Phan D., Amblard F. (eds), *Agent-based Modelling and Simulation in the Social and Human Sciences*, Oxford, The Bardwell Press. p. 273-294.
- C. Chaline, J. Dubois-Maury. (2004) *Les risques urbains*. Armand Colin, Paris, 210 p.
- S. Cranefield and M. Purvis. (1999) « UML as an ontology modelling language ». Proc. of the Workshop on Intelligent Information Integration, 16th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-99), Available: <http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/WBS/dfc/iii99/crainfield-ijcai99-iii.pdf>
- R. D'Ercole et al. (1994) « Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse ». *Revue de géographie alpine*, tome LXXXII, n°4, p. 87-96.
- E. Daudé, D. Provitolo, E. Dubos-Paillard, D. Gaillard, E. Eliot, P. Langlois, E. Propeck-Zimmermann, T. Saint-Gerand. (2009) « Spatial risks and complex systems ». In M.A. Aziz Alaoui and C. Bertelle, *From System Complexity to Emergent Properties*, Springer, Series « Understanding complex systems », pp. 165-178, DOI : 10.1007/978-3-642-02199-2_7.
- A. Dauphiné. (2003) *Risques et catastrophes*. Armand Colin, Paris, 288 p.
- M. Douglas et A. Wildawski. (1982) *Risk and culture : An essay on the selection of technological and environmental dangers*. Berkeley : University of California Press.
- C. Gilbert. (2006) « La vulnérabilité, une notion à explorer ». *Pour la Science*, n° 51, p. 116-120.
- C. Gilbert. (2003) *Risques collectifs et situations de crise. Apport de la recherche en sciences humaines et sociales*. Coll. Risques Collectifs et Situations de Crise, l'Harmattan, Paris, 340 p.
- T.R. Grüber. (1993) « Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing ». In N. Guarino and R. Poli, (Eds.), *International Workshop on Formal Ontology*, Padova, Italy. In *International Journal of Human-Computer Studies*, Volume 43(5-6), p 907-928, (2005).
- P. Hadfield. (1991) *Sixty Seconds That Will Change the World: the Coming Tokyo Earthquake*. London: Sidgwick & Jackson.

- G.-Y. Kervern. (1995) *Éléments fondamentaux des Cindyniques*, Economica. Paris, 110 p.
- R.J.T. Klein, R.J. Nicholls, F. Thomalla F. (2003) « Resilience to natural hazards : How useful is this concept ? ». *Environmental Hazards*, 5, p. 35-45.
- Langlois P. (2007) Fondements théoriques pour la simulation de systèmes complexes en Géographie, mémoire d'HDR, 2007, Université de Rouen.
- F. Leone. (2008) Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisque. HDR, Université Paul Valéry – Montpellier III.
- A. Luers. (2005) « The surface of vulnerability: an analytical framework for examining environmental change ». *Global Environmental Change* 15:214–223.
- A. Magnan. (2009). « La vulnérabilité des territoires littoraux au changement climatique: mise au point conceptuelle et facteurs d'influence ». *Iddri Analyses*, 01/2009.
- F. Mancebo. (2006) « Katrina et la Nouvelle-Orléans : entre risque "naturel" et aménagement par l'absurde ». *Cybergeo*, Aménagement, Urbanisme, article 353.
- M. H. Mazouni, J.-F. Aubry, E. M. El Koursi. (2008) « Méthode systémique et organisationnelle d'Analyse Préliminaire des Risques basée sur une ontologie générique ». Workshop Surveillance, Sûreté et Sécurité des Grands Systèmes, 3SGS'08, Troyes, France.
- V. November. (2006) « Le risque comme objet géographique ». *Cahiers de géographie du Québec*, 50(141) pp. 289-296.
- M. Pelling. (2003), *The vulnerability of cities : Natural disaster and social resilience*. Earthscan, London, UK.
- P. Pigeon. (2005) *Géographie critique des risques*. Economica, Paris, 217 p.
- D. Provitolo. (2009) « A new classification of catastrophes based on "Complexity Criteria" ». In M.A. Aziz Alaoui and C. Bertelle, *From System Complexity to Emergent Properties*, Springer, Series « Understanding complex systems », pp. 179-194, DOI : 10.1007/978-3-642-02199-2.
- D. Provitolo. (2005) « Un exemple d'effets de dominos : la panique dans les catastrophes urbaines ». *Cybergeo*, n° 328.
- D. Provitolo. (2007) « La vulnérabilité aux inondations méditerranéennes : une nouvelle démarche géographique ». p. 23-40, *Annales de Géographie*.
- D. Provitolo. (2007) « Les différentes formes de complexité des systèmes de risque et de catastrophe ». p. 259-272, Actes du colloque international *Catastrophes, discontinuités, ruptures, limites, frontières*, 14èmes journées de Rochebrune, Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, janvier 2007, Rochebrune, Megève.
- P. Timmerman. (1981) « Vulnerability, Resilience and the collapse of society : a review of models and possible climatic applications ». University of Toronto, Canada.
- J.I. Uitto. (1998) « The geography of disaster vulnerability in megacities: a theoretical framework ». *Applied Geography*, Tome 18, n°1, p. 7-16.
- Y. Veyret. (2004) *Les risques*. Bréal, Paris, 206 p.
- Y. Veyret (ss dir). (2007) *Dictionnaire de l'environnement*. Armand Colin, Paris, 404 p.
- B. Wisner. (1999) « There are worse things than earthquakes : hazard, vulnerability and mitigation capacity in greater Los Angeles ». In Mitchell J.-K., *Crucibles of Hazard : Disasters and megacities in transition*, Tokyo, New York, Paris, United Nations University press.