

CARTOGRAPHIE DES TEMPORALITÉS DANS LE DOMAINE DES RISQUES

par Aurélie Arnaud* et Paule-Annick Davoine**

* Laboratoire PACTE-CNRS-TERRITOIRE
14bis avenue Marie Reynoard 38 100 Grenoble
Courriel : orelyarno@yahoo.fr

**Laboratoire d'informatique de Grenoble
681 rue de la passerelle 38 402 Saint-Martin-d'Hères
Courriel : Paule-annick.davoine@imag.fr

Avec l'émergence des nouveaux outils liés à la technologie du Web et du multimédia, la cartographie présente aujourd'hui des possibilités infinies pour représenter les différentes dimensions de l'information géo-référencées, et notamment celles liées au temps. Cette recherche se focalise sur la représentation du temps à travers les différentes formes de cartographies et plus particulièrement celles issues de la géo-visualisation. Notre objectif est d'élaborer une méthode pour la conception cartographique des différentes temporalités d'objets géographiques afin d'améliorer la connaissance et la compréhension des phénomènes spatio-temporels. Le travail présenté s'appuie sur la définition des temporalités qualifiant les événements issus de risques naturels. En effet, le risque est une problématique très prisé compte tenu des problèmes posés dans l'aménagement du territoire. L'article décrit, dans un premier temps, les différentes temporalités qui concernent les risques naturels à travers l'exemple des événements issus de risques. Dans un second temps, nous présentons les apports et les limites de la cartographie et de la géo-visualisation pour la représentation des temporalités. L'analyse des temporalités et des modes de représentations cartographiques nous amène à proposer une méthode de conception cartographique basée sur les concepts de modélisation de l'information spatio-temporelle et intégrant des variables géo-visuelles.

Introduction

La « cartographie du risque » est une expression qui englobe de nombreuses notions et méthodes. En effet, la cartographie est un instrument qui permet de dessiner des objets en suivant des méthodes de représentations visuelles. Quant au risque, il s'agit d'un terme qui contient une multitude d'éléments plus ou moins concrets. Il peut s'agir de probabilités (l'aléa et la vulnérabilité), mais aussi de notions palpables comme les phénomènes eux-mêmes et les dommages engendrés. Ceci constitue l'« événement issu de risque », et peut être considéré comme la partie visible du risque. Ces objets sont décrits par de nombreuses informations dont les dimensions sont spatiales, temporelles et thématiques. Notre intérêt se focalise alors sur la cartographie de l'information temporelle des événements issus de risques, et ceci pour plusieurs raisons :

- 1) L'information sur les événements issus de risques est très prisée des scientifiques et des décideurs dans le cadre de la prévision et de la prévention des risques, comme par exemple l'enrichissement de la mémoire des risques.

- 2) La carte est un instrument de travail privilégié des acteurs, dans le processus de gestion des risques naturels. Toutefois, la représentation des temporalités reste assez limitée.
- 3) La connaissance des temporalités d'un ou plusieurs objets est indispensable à la compréhension de certains processus (ex. lois de probabilités). Leur représentation cartographique et l'usage de la géo-visualisation permettent de repérer des tendances globales, mais aussi des tendances anormales. Elle améliore donc leur compréhension et les acteurs de la gestion des risques en sont demandeurs.

L'idée est de mettre en relation le temps directement avec la dimension spatiale à travers la représentation cartographique. Le problème à résoudre est alors de représenter sur une carte les temporalités des événements issus de risques dans un but d'en améliorer la connaissance et la compréhension. Le questionnement subséquent est : « Comment représenter la dimension du temps sur une carte, attribut quantitatif mais qui semble peu évident à valoriser compte tenu de ses caractères éphémères et évolutifs

? Quelles temporalités, les méthodes cartographiques nous permettent-elles de prendre en compte ? » Notre objectif est d'identifier un certain nombre de temporalités en nous appuyant sur l'exemple d'événements issus de risques afin de construire une méthode de représentation cartographique.

Une première partie définit ce que nous considérons comme les « temporalités des événements issus de risques », tandis que la seconde présente un état de l'art de la cartographie des temporalités et des apports de la géo-visualisation. Dans une troisième partie nous proposons une méthodologie pour la représentation des temporalités. Celle-ci est basée sur l'utilisation des concepts de modélisation de l'information spatio-temporelle et sur la définition de variables géo-visuelles. Dans une dernière partie nous appliquons nos propositions à la problématique des événements issus de risques.

1 Temporalités des événements issus de risque

Les temporalités du risque, plus précisément des événements, sont encore peu étudiées. Le terme « temporalité » est pluriel. Dans les années 80, dans le domaine de la sociologie du risque, Hewitt (1983) distingue dans une catastrophe : la fréquence, la durée, la vitesse de changement, la période de retour et l'espacement chronologique. Dès les années 90, la considération des temporalités se focalise sur les pas de temps (en tant que petite période d'un temps linéaire caractérisé par une durée) et leur rythmes. Cette vision est très prisée dans le domaine de la géographie notamment à travers le courant de la *time-geography*, mais aussi en urbanisme (par exemple, « Les temporalités urbaines » de Lepetit et al, 1999). L'étude de l'enchevêtrement de ces pas de temps révèle une nouvelle temporalité : la synchronisation. Allen (1983) qualifie les différentes synchronisations temporelles possibles en identifiant treize relations, aussi nommé « intervalles temporels ».

Dans le domaine de la géo-visualisation et plus précisément l'étude de la représentation d'objets sur des cartes, DiBiase (1992) et MacEachren (1994) identifient des variables dynamiques qui sont, en plus de la durée, de la fréquence, de la vitesse de changement et de la synchronisation : le moment de représentation et l'ordre chronologique. Les travaux de Baudelle (2004) reprennent ces temporalités mais ajoutent une distinction entre, d'une part, les temporalités d'éléments probables (temporalités aléatoires et rythmiques, telle que la

période de retour d'un risque) s'inscrivant dans un temps cyclique, et, d'autre part, les temporalités d'éléments réels (les temporalités en accélération et idéologiques se référant à l'épaisseur temporelle de l'histoire) et s'inscrivant dans un temps linéaire.

Dans un premier temps nous nous intéressons aux temporalités de l'événement selon une analyse s'inscrivant dans la discipline de la géographie, donc l'analyse des synchronisations des pas de temps liés aux événements issus de risques. Dans un second temps, nous appliquerons les relations d'Allen (1983) à ces synchronisations. Pour finir, nous décrirons d'autres temporalités qualifiant les événements issus de risques.

1.1 Synchronisation de pas de temps

Nous étudions les temporalités de l'événement grâce à la mise en évidence de pas de temps à durées de vie variables (durées de vie d'objets concrets : éléments exposés, espace physique ; ou virtuels : le risque) dans l'objectif de faire apparaître des synchronisations, celles d'où émanent les événements. Ces pas de temps demeurent courts ou longs par rapport à une échelle temporelle. Les temporalités du risque sont encore peu étudiées, et celles de l'événement à peine considérées.

L'espace physique (une falaise, un bassin versant, un massif montagneux) a des temporalités propres (pas de temps liés à la cinétique des phénomènes ou liés à leur vitesse d'exécution, et pas de temps de leurs traces), ainsi que les éléments exposés (pas de temps liés aux éléments exposés, physiques et humains). À la conjonction de ces temporalités se situent les événements. Par exemple, une avalanche (temporalité du phénomène) dont la trajectoire rencontre des habitations (temporalité d'éléments exposés) provoque un événement compte tenu des dommages provoqués. Les temporalités de l'événement sont constituées de celles de sa cause (le phénomène), de sa parade (l'alerte et la crise), mais aussi de ses conséquences et de ses traces (les dommages). Les acteurs ont besoin de visualiser celles-ci pour les aider dans leurs recherches ou dans leurs décisions.

Si notre objectif est de représenter les temporalités des événements, ce sont donc celles des phénomènes et des dommages qu'il faut cartographier. Mais au-delà de la représentation de ces pas de temps, quelles relations peut-on rencontrer dans leur synchronisation ?

1.2 Relations temporelles d'Allen appliquées aux événements issus de risques

La figure 1 présente les 13 relations temporelles définies par Allen qui peuvent s'appliquer à des événements.

Adaptées aux événements issus de risques, ces relations existent uniquement dans le cas où l'on considère plusieurs événements ou un ensemble d'événements. Elles mettent alors en évidence l'ordre chronologique d'un ensemble d'événements de même type (une inondation s'est réalisée avant une autre), et la relation entre deux événements de même type ou de différentes catégories : une inondation s'est terminée quand une autre s'est produite ; un éboulement s'est réalisé pendant qu'un autre avait lieu ; une avalanche s'est déclenchée juste après un éboulement ... Ces relations peuvent être étendues si l'on ajoute un troisième événement ou plus. Elles correspondent à des éléments temporels que les acteurs désirent connaître et visualiser. Toutefois, l'événement contient d'autres temporalités.

1.3 Autres critères temporels de l'événement

Les événements liés aux risques naturels sont caractérisés par d'autres temporalités telles que, le moment, la fréquence, l'ordre chronologique, la vitesse de changement et l'espacement temporel. Celles-ci ont été identifiées par Hewitt (1983), Dibiasse (1992) et MacEachren (1994). Appliquées à notre problématique, ces temporalités peuvent se décliner de la façon suivante :

- Le **moment** d'occurrence (ex. date, heure) indique le moment où le phénomène se produit, ou le moment où l'événement s'est amorcé. Par exemple, la date d'occurrence d'une avalanche.
- La **durée** correspond à un intervalle de temps (ou pas de temps) dans lequel s'est produit un événement. Il s'agit de la durée d'un événement, d'un phénomène ou d'un élément exposé physique. Par exemple, la durée d'une inondation ou la durée de vie d'un bâtiment. La durée peut également être un espace temporel où rien ne change, où aucun événement ne se réalise : nommé « **espacement temporel** » (ou espacement chronologique) par Hewitt (1983).
- La **fréquence** est le nombre d'événements qui se sont produits dans une unité de temps (en un an, cinq éboulements se sont réalisés). Dans notre domaine, la fréquence des événements est leur dénombrement dans une unité de

temps, telle que l'année, la saison, etc. La **période de retour** peut être considérée comme une fréquence probable : par exemple « une fois tous les cent ans a lieu une inondation de cette ampleur ».

- L'**ordre chronologique** est l'histoire ascendante ou descendante des événements et correspond à une suite d'événements (inondations, avalanches ...) qui se sont produits sur une période donnée.
- La **vitesse de changement**, également nommée « **rapidité d'exécution** », correspond à l'ampleur d'une modification dans une durée. Lorsqu'un phénomène évolue dans un intervalle de temps, il existe des périodes calmes ou turbulentes, ou des moments de stagnation ou de forte progression. Par exemple, la vitesse de propagation d'une inondation varie, en outre, en fonction de la rugosité du sol et de la topographie.

La description de ces temporalités s'inscrit également dans un temps linéaire (description du déroulement de l'événement : ordre chronologique, moment d'occurrence, durée, vitesse), cyclique (événements saisonniers comme les avalanches de neige ou comportant une période de retour comme les inondations: période de retour, fréquence). Néanmoins, dans le domaine des risques naturels, les temporalités des événements sont inéluctablement reliées à l'espace et donc indissociables de cette dimension. L'intérêt de la cartographie des temporalités est alors très grand. Quelles méthodes et techniques cartographiques permettent de les valoriser ?

2 Cartographie des temporalités : de la cartographie classique à la géo-visualisation

La cartographie des temporalités se réalise à travers des techniques et des méthodes cartographiques variées auxquelles peuvent s'ajouter les processus de géo-visualisation. On peut citer les collections de cartes (successions de cartes présentant les mêmes thématiques mais sur de périodes différentes) ou les cartes statistiques utilisant les variables visuelles adaptées à la représentation du mouvement, du changement, mais aussi les nouvelles formes cartographiques qui présentent un réel potentiel. L'objectif de cette section est de présenter, d'une part, les formes de cartographie statique, capables de rendre compte du temps notamment à travers des règles de sémiologie graphique, d'autre part, les nouvelles formes de cartographie, intégrant un processus de géo-visualisation. L'objectif est de

montrer en quoi, ces différentes formes, qui utilisent un environnement interactif et animé, peuvent élargir les possibilités de la cartographie des temporalités.

2.1 Cartographie des temporalités : bases sémiologiques et limites

La cartographie « classique » permet de réaliser des cartes statiques simples ou des collections de cartes. Qu'apportent ces formes cartographiques et la sémiologie graphique ? Quelles sont leurs limites ?

La **carte statique** permet de représenter des durées, des vitesses d'exécution et des fréquences grâce aux variables cartographiques que sont la taille, la valeur, la valeur associée à la couleur, la transparence et le grain, mais aussi la variable texte (par exemple une date). Cependant, l'étude des cartes sur les événements issus de risques montre que cette sémiologie graphique s'applique peu dans le cas où les objets se superposent (par exemple des répliques sismiques ou encore des coulées de laves d'un volcan). De plus, le caractère chronologique et évolutif des événements est peu perçu à travers l'application de cette sémiologie.

La **collection de cartes** peut mettre en évidence la durée d'un ou plusieurs événements, les vitesses, les fréquences et les moments d'occurrence. La représentation de ces temporalités utilise souvent les variables de mouvement créées par Ormeling (1995), l'Hostis (2003) ou Peterson (1994) et qui se basent sur la sémiologie graphique de Bertin (1967) : changement de taille, de forme, de texture, de localisation, de couleur, de valeur de la couleur, d'angle, de scènes, de zoom, de perspectives et de taux de changement de thème. Cependant, l'étude de cette forme de carte montre que certaines temporalités sont difficilement valorisables. Le tableau 1 résume l'intérêt et les limites des collections de cartes pour la représentation de certaines temporalités. On s'aperçoit que, dès qu'un événement ou qu'un ensemble d'événements mobilisent de nombreuses étapes pour être représentés, la collection de cartes n'est plus suffisante : par exemple un événement à vitesse rapide, sur un pas de temps long, nécessite un grand nombre de cartes pour que le lecteur se rende compte de l'évolution temporelle.

Face à ces limites se développe l'usage des méthodes de géo-visualisation et des nouvelles formes de cartographies associées pour la cartographie des temporalités.

2.2 Apports de la géo-visualisation : les nouvelles formes cartographiques

La géo-visualisation est un ensemble de méthodes et d'outils utilisant un environnement interactif, animé et multimédia, pour visualiser des données géo-référencées, notamment à travers des cartes. Appliquées à la visualisation de la dimension temporelle, celles-ci prennent alors plusieurs formes, cartes animées ou cartes dynamiques.

Une carte animée est créée par l'animation d'une succession de cartes. Ce processus représente un changement sur place (la position), en place (les attributs) ou dans le temps (Kraak et al. 1997). Cette forme cartographique permet de révéler des phénomènes spatio-temporels et, plus généralement, les changements. La carte animée rend bien compte de l'ordre chronologique d'événements (ex. l'ordre des moments d'occurrence de répliques sismiques ou d'inondations). La vitesse d'un événement (ex. l'évolution des phénomènes atmosphériques en temps réel) et la durée sont également bien représentées. Cette technique cartographique peut alors réduire la surcharge graphique. Cependant, la carte animée correspondant à une séquence d'animation, la perception des temporalités par l'utilisateur n'est pas forcément immédiate et nécessite souvent de rejouer l'animation avant de percevoir les phénomènes représentés. Dans ce cas, la carte dynamique peut apporter des solutions.

La carte dynamique utilise un environnement animé mais aussi interactif. L'utilisateur peut alors interagir avec la carte et contrôler l'animation des cartes, ce qui présente un grand intérêt (Peterson 1999). Ce sont surtout les critères temporels de l'évolution, de la durée, du moment d'occurrence, de l'espacement chronologique et de l'ordre qui sont lisibles à travers ces cartes. Les variables cartographiques de la taille, de la valeur, du grain, de la teinte, de l'orientation et de la forme sont visualisables à travers une sémiologie adaptée. Le tableau 2 propose une synthèse de l'application des variables cartographiques selon les critères temporels à visualiser en se basant sur les résultats des travaux de Kobben et al. (1995) et Dukaczewski (2006). Dans ce tableau, la synchronisation et la période de retour ne sont pas considérées, et la fréquence est peu valorisée par les variables visuelles classiques.

L'utilisation d'outils ou de fonctionnalités interactives et animées (Peterson 1999 ; Kraak et al. 1997), associés à la carte et tels qu'ils sont proposés par la figure 2, permet d'élargir les possibilités de visualisation des temporalités des objets, tels que le temps

linéaire (passé, présent, futur) et le temps cyclique (ex. saisons, jour/nuit, une période de retour, une fréquence). L'utilisateur interagit avec la carte en activant les différents « boutons » ou onglets.



Les chronologies dynamiques sont également des outils répandus pour interagir sur des cartes animées (Davoine et al. 2001 et 2004). Ils ont l'avantage de montrer, en plus de l'ordre chronologique, d'autres attributs à travers des graphiques (ex. histogrammes, nuages de points (Moisuc 2007)).



L'apport des cartes dynamiques est alors indéniable dans la représentation des temporalités d'objets à cartographier. Cependant, un problème réside dans le choix de ces différentes formes de cartes lors de la représentation des temporalités et dans la conception même de ces cartes. En effet, au niveau de la représentation des critères temporels adaptés à la forme cartographique animée, un vide sémiologique persiste. Il est difficile de trouver les bonnes variables visuelles pour construire les cartes temporelles, et d'identifier les formes d'une géo-visualisation adaptée. Pour répondre à cette problématique, l'idée est de proposer une méthodologie permettant de modéliser le processus de conception cartographique intégrant la diversité des formes cartographiques et des variables visuelles permettant de rendre compte de la dimension temporelle. L'approche proposée s'appuie sur la problématique des risques naturels et plus particulièrement sur celle liée à la représentation des événements issus de risques.

3 Vers une méthode pour la géo-visualisation de temporalités

Notre proposition, s'appuie sur les concepts méthodologiques utilisés pour la modélisation de l'information spatio-temporelle dans les systèmes d'information, et notamment ceux définis dans la méthode MADS (Vangenot et al. 2002 ; Spaccapietra et al. 2007). Nous proposons d'utiliser le pouvoir d'expression des pictogrammes définis dans MADS (Modélisation d'Application à Données Spatiales) afin de rendre compte des temporalités attachées aux objets géographiques, puis de leur associer des variables visuelles temporelles, issues de la sémiologie de Bertin, et du domaine de la visualisation.

3.1 Signaler la dimension temporelle des objets : « pictogrammes temporels »

MADS (Modélisation d'Application à Données Spatio-Temporelles) utilise des pictogrammes pour indiquer certaines dimensions d'objets à modéliser : le moment , la durée , la fréquence (ensemble

de moment  ensemble de durée ). Toutefois les temporalités, telles que la période de retour, la vitesse, l'espacement temporel, l'ordre chronologique et la synchronisation, ne sont pas représentées. La démarche de modélisation proposée pour la conception cartographique des temporalités repose sur l'utilisation de ces pictogrammes, pour indiquer la dimension temporelle de l'objet à représenter sur une carte ainsi que la façon de la représenter. Cependant, une telle approche nécessite la création de nouveaux pictogrammes afin de prendre en compte l'ensemble des temporalités définies. Ces propositions de pictogrammes sont présentées dans le tableau 3.

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.

L'application de ces pictogrammes aux différentes temporalités ne permet pas de prendre en compte la dynamique proposée par les outils de géo-visualisation. C'est pourquoi nous proposons aussi un cheminement qui nous permet de passer de l'identification des temporalités à leur représentation dans des outils de géo-visualisation via des variables « géo-visuelles ».

3.2 Des pictogrammes à la carte : proposition de « variables géo-visuelles »

L'état de l'art montrait qu'une sémiologie graphique est applicable aux critères temporels à cartographier, sans toutefois intégrer les processus de géo-visualisation. C'est pourquoi nous proposons de nouvelles variables que nous nommons « variables géo-visuelles ». Celles-ci sont présentées dans la figure 3.

Cinq variables géo-visuelles sont définies :

- **L'apparition** : elle permet de rendre compte du moment d'occurrence en visualisant l'affichage des objets. Cette variable géo-visuelle permet également de représenter l'ordre en visualisant une apparition successive d'objets, la fréquence en visualisant un nombre d'apparitions ou de durées, et la période de retour en visualisant un temps entre deux objets.
- **La durée** d'affichage d'un objet permet de cartographier une durée d'apparition ou une durée d'absence.
- **Le déplacement** permet de cartographier un objet qui se déplace dans le temps. Cette

variable peut être associée à la vitesse d'un objet.

- **La vitesse**, quant à elle, permet de visualiser le taux de changement.
- **Le clignotement** permet de visualiser la synchronisation d'objets.

Le processus de modélisation, consiste à associer un pictogramme à chaque variable géo-visuelle définie en fonction du type de temporalité qui caractérise l'objet géographique à cartographier. Les choix sémiologiques des variables cartographiques et de géo-visualisation s'appliquent ensuite aux signes élémentaires de la carte selon les règles de sémiologie d'Ormeling (1995), l'Hostis (2003) ou Peterson (1994). La figure 4 montre l'application des variables géo-visuelles et cartographiques selon les critères temporels. Elle indique également les signes élémentaires possibles en fonction de la variable choisie.

Toutefois, la visualisation des treize relations d'Allen (1983) et la synchronisation ont la possibilité d'être nettement améliorées en faisant intervenir d'autres techniques de géo-visualisation : par exemple, l'association d'un graphique à la lecture de la carte animée. Dans ce cas, l'affichage des événements issus de risques sur un graphique en nuage de points montre, en l'animant, la synchronisation des différents événements, mais aussi toutes les relations d'Allen. La visualisation de cette solution impose alors l'utilisation d'outils de géo-visualisation.

4 Application de la méthode aux événements issus de risques

La notion d'événement issu de risques est représentée par le modèle conceptuel décrit par la figure 5. Un événement issu de risques est composé d'un ou plusieurs phénomènes naturels et des dommages causés par ces derniers (Davoine et al. 2006), (Arnaud 2009). Dans notre cas d'étude, les phénomènes concernés peuvent être des inondations et/ou des éboulements rocheux. Chacun de ces éléments étant caractérisé par une temporalité, nous leur appliquons un pictogramme temporel spécifique.

La figure 5 montre que la représentation cartographique des temporalités attachées aux classes Éboulements et Inondations nécessite une visualisation de leur synchronisation. Le pictogramme est affiché sur le modèle au niveau de la relation d'héritage. Le diagramme montre également que la temporalité associée à la classe Dommages correspond à l'ordre chronologique. Les temporalités de la classe Phénomène peuvent être de plusieurs types : ordre, vitesse, fréquence, période de retour et durée. Les

temporalités de la classe Événement sont la synchronisation et l'ordre chronologique. Nous proposons d'intégrer ce processus de modélisation dans GenGHIS, outil de géo-visualisation basé sur la génération d'interfaces multidimensionnelle, permettant de rendre compte des dimensions spatiales, temporelles et thématiques de l'information manipulée (Moisuc & al, 2005), (Moisuc 2007). GenGhis permet de générer des cartes interactives, multimédia, animées, ainsi que des collections de cartes. Il intègre les principes de la sémiologie de Bertin et les variables géo-visuelles proposées.

La figure 6 correspond à l'interface de géo-visualisation proposée par GenGHIS, qui permet de rendre compte de la relation temporelle entre plusieurs événements : une inondation s'est réalisée avant un ensemble d'événements. Elle permet également, grâce à sa fonction « animée », de visualiser la synchronisation des éboulements. La carte, quant à elle, localise les événements d'éboulements et inondations dont l'occurrence se visualise par la surbrillance des derniers.

Conclusion

La prise en compte du temps dans l'analyse des phénomènes liés aux risques naturels et notamment dans la connaissance et la compréhension des événements issus de risques est devenue indispensable. Face à la complexité et à la diversité des temporalités liées à la notion d'événement à risques, les formes classiques de la cartographie ne sont pas toujours adaptées. C'est pourquoi nous nous sommes intéressés aux possibilités offertes par la géo-visualisation et notamment aux formes de cartographies émergentes que sont les cartes animées, multimédia, interactives et dynamiques. Cependant, si la géo-visualisation constitue une approche particulièrement intéressante pour cartographier l'information spatio-temporelle, il n'en reste pas moins que se pose le problème de la conception de cartes adaptées et du choix des variables visuelles conformes à la représentation des temporalités. Face à ce problème, nous avons proposé les prémices d'une approche de modélisation du processus cartographique qui repose sur l'usage de pictogrammes permettant de spécifier pour chaque objet à cartographier son type de temporalité et d'y associer la variable visuelle la mieux adaptée. Afin de rendre compte de la pluralité des temporalités, nous avons proposé d'associer aux variables visuelles classiques issues de la sémiologie de Bertin, des variables géo-visuelles issues de la visualisation telles que le clignotement, l'apparition, le déplacement, la vitesse ou la durée d'apparition d'un objet ou d'une ligne. Ces propositions ont été appliquées à la théma-

tique des événements issus de risques. Toutefois la mise en œuvre du processus de modélisation proposé nécessite sa validation sur des thématiques

diverses, la spécification et la formalisation des relations entre les différentes temporalités, et leur implémentation dans un outil de géo-visualisation.

Bibliographie

Allen J.F., 1983, "Maintaining knowledge about temporal intervals," TR 86, Computer Science Dept., U. Rochester, January 1981; Communications of the ACM 26, 11, 832-843, November 1983.

Arnaud A., 2009, *Valorisation de l'information dédiée aux événements de territoires à risque. Une application sur la couronne grenobloise*. Thèse de doctorat de Géographie, Université Joseph Fourier, Grenoble 1, 500p.

Baudelle G. et Regnault H., 2004, *Echelles et temporalités en géographie*, SEDES-DIEM, 176 p.

Bertin J., 1967, *La sémiologie graphique*, Paris, Gauthiers-Villars, 431 p.

Davoine P-A., Brunet R., Clavandier G., Charrier PH., Favier R., et Martin H., 2001, « Le projet SIDIRA : une approche pluridisciplinaire pour une meilleure appropriation des risques naturels via les nouvelles technologies de l'information », *Actes du colloque - SIRNAT 2001*, Nice, décembre 2001, 13 p.

Davoine P-A., Martin H. et Cœur D., 2004, « Historical Flood Data Base Linked to a Wb-Based Interface », dans *Systematic, Palaeoflood and Historical Data for the Improvement of Flood Risk Estimation (SPHERE), Methodological Guidelines*, p. 95-101.

Davoine P-A, Moïsuc B, Gensel J, and Martin H., 2006, « SIHREN : conception de systèmes d'information spatio-temporelle dédiés aux risques naturels », *Revue internationale de géomatique*, 16(3-4), p. 377-394.

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), p.201-214.

Dukaczewski D., 2006, « Entities – Cartotropic Method of Selection of Static and Dynamic Variables for Temporal Cartographic Animations », *International Conference on Cartography and GIS*, January 2006. http://www.datamap-bg.com/conference_cd/pdf/38_215_Dukaczewski_Pol.pdf

Hewitt K., 1983, "The Idea of Calamity in a Technocratic Age", dans *Interpretation of Calamities*, (ed.) Hewitt K., The risks and hazards series #1, Boston, Allen & Unwin Inc., p. 3-32.

Kobben B., Yaman M., 1995, « Evaluating Dynamic Visual Variables », *International Cartographic Association, Escuela Universitaria de Ingeniera Tecnica Topografica, Madrid, Spain, August 30 - September 1, 7p.*

Kraak M-J., Edsall R., MacEachren A-M., 1997, « Cartographic Animation and Legends for Temporal Maps: Exploration and /or Interaction », dans *Proceedings of the 18th International Cartographic Conference, Stockholm, Sweden*, p. 253-260. http://www.geovista.psu.edu/publications/MacEachren/Kraak_etal_97.PDF

L'Hostis A., 2003, « De l'espace contracté à l'espace chiffonné. Apports de l'animation à la cartographie en relief des distances-temps modifiées par les réseaux de transport rapides », *Revue internationale de géomatique*, vol. 13, n°1, p. 69- 80.

Lepetit B., Pumain D., 1999, *Temporalités urbaines*, Economica, collection villes, 317p.

MacEachren A-M., 1994, "Time as a cartographic variable", dans *Visualization in Geographic Information Systems*, Unwin D.J. Hearnshaw H.M. (Eds.), Wiley, p.115-130.

Moïsuc B., Davoine P-A, Gensel J, Martin H., « GenGHIS 2005: un outil de modélisation spatio-temporelle pour le suivi historique des risques naturels », *Revue Ingénierie des systèmes d'Information*, vol. 10, n°4/2005, p 35-58.

Moïsuc B., 2007, *Conception et mise en œuvre de systèmes d'informations spatio-temporels adaptatifs : le framework ACTIS*. Thèse de doctorat UJF, sous la direction d'Hervé Martin, 192 p.

Ormeling F.J., 1995, "Teaching animation cartography", dans *Proceedings of the Seminar on Teaching Animated Cartography*, Madrid, Spain.

Perterson M-P., 1999, « Active legends for interactive cartographic animation », Technical communication, int. J. *Geographical information science*, vol. 13, no. 4, p. 375-383.

Peterson M-P., 1994, « Spatial Visualization through Cartographic Animation: Theory and Practice », dans *Spatial Visualization through Cartographic Animation: Theory and Practice* : proceedings of Geographic Information Systems / Land Information Systems GIS/LIS (1994), p. 619-628.

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

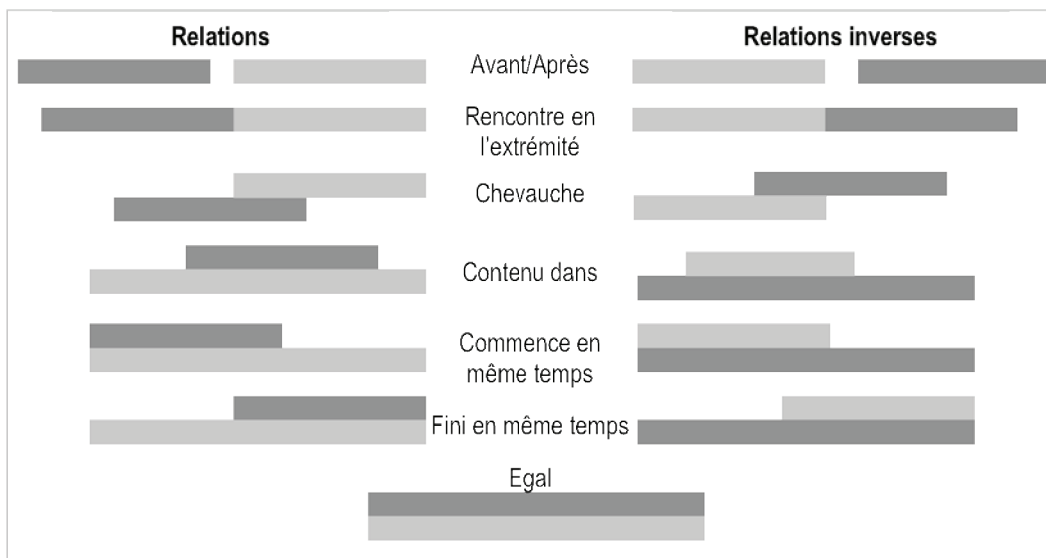


Figure 1 : Treize relations temporelles (Allen, 1983)

Vitesse d'exécution d'un événement ou Fréquence d'événements	Rapide	Moyenne	Lente
Durée d'un pas de temps	Elevée	Moyenne	Peu élevée
Court (seconde, minute, heure)			
Moyen (jour, semaine, mois)	Problème	Problème	
Long (année, décennie...)	Problème	Problème	

Représentation cartographique de l'évolution possible à travers une collection de cartes

Tableau 1 : Représentation statique des temporalités d'un ou plusieurs événements

Critères temporels Variables cartographiques	Moment	Durée	Fréquence	Chronologie	Changement
Taille		+++	++	++	+++
Valeur		+++	++	++	+++
Grain / trame	+++	+++	++	++	+++
Couleur	+		(+)	(+)	
Orientation	+++		++	++	
Forme	+++		++	++	

+++ Très adapté ++ Adapté + Peu adapté

Tableau 2 : Représentation des critères temporels sur des cartes dynamiques

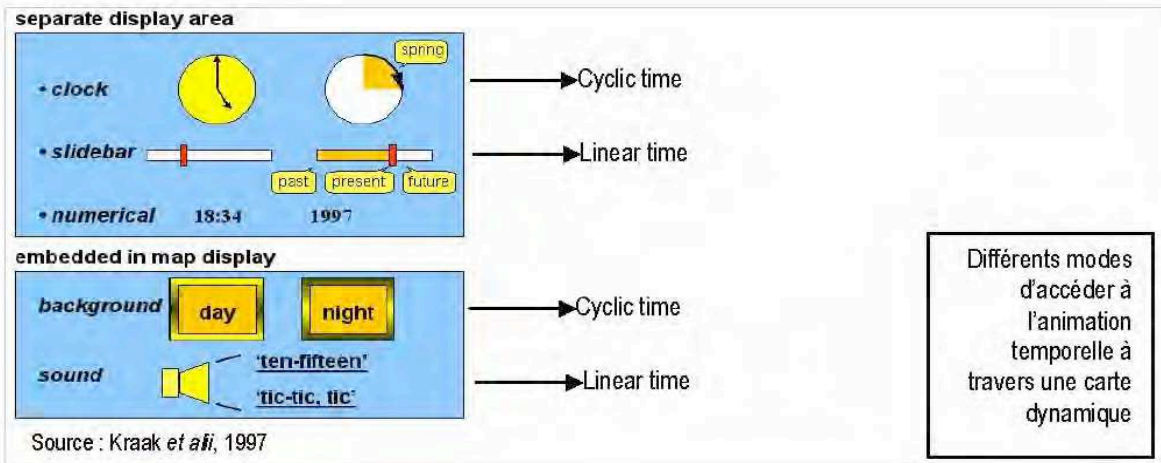


Figure 2 : Exemple de légende dynamique pour contrôler une carte animée (Kraak et al, 1997)

Temporalités	Pictogrammes
Période de retour	
Vitesse	
Espacement temporel	
Ordre chronologique	
Synchronisation	

Tableau 3 : Proposition de pictogrammes pour la modélisation des temporalités

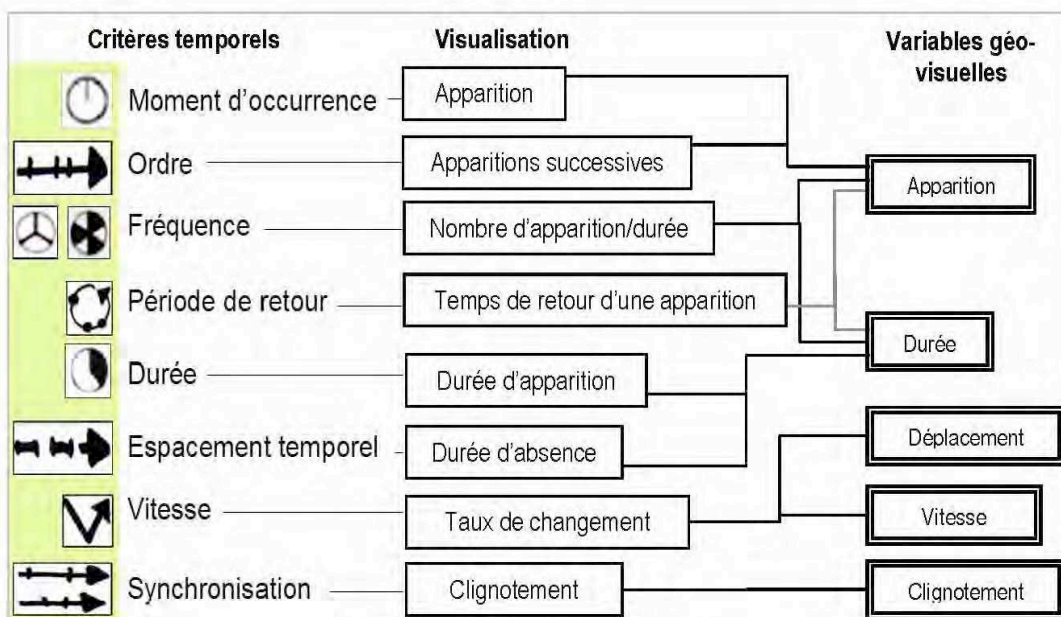


Figure 3 : Variables géo-visuelles

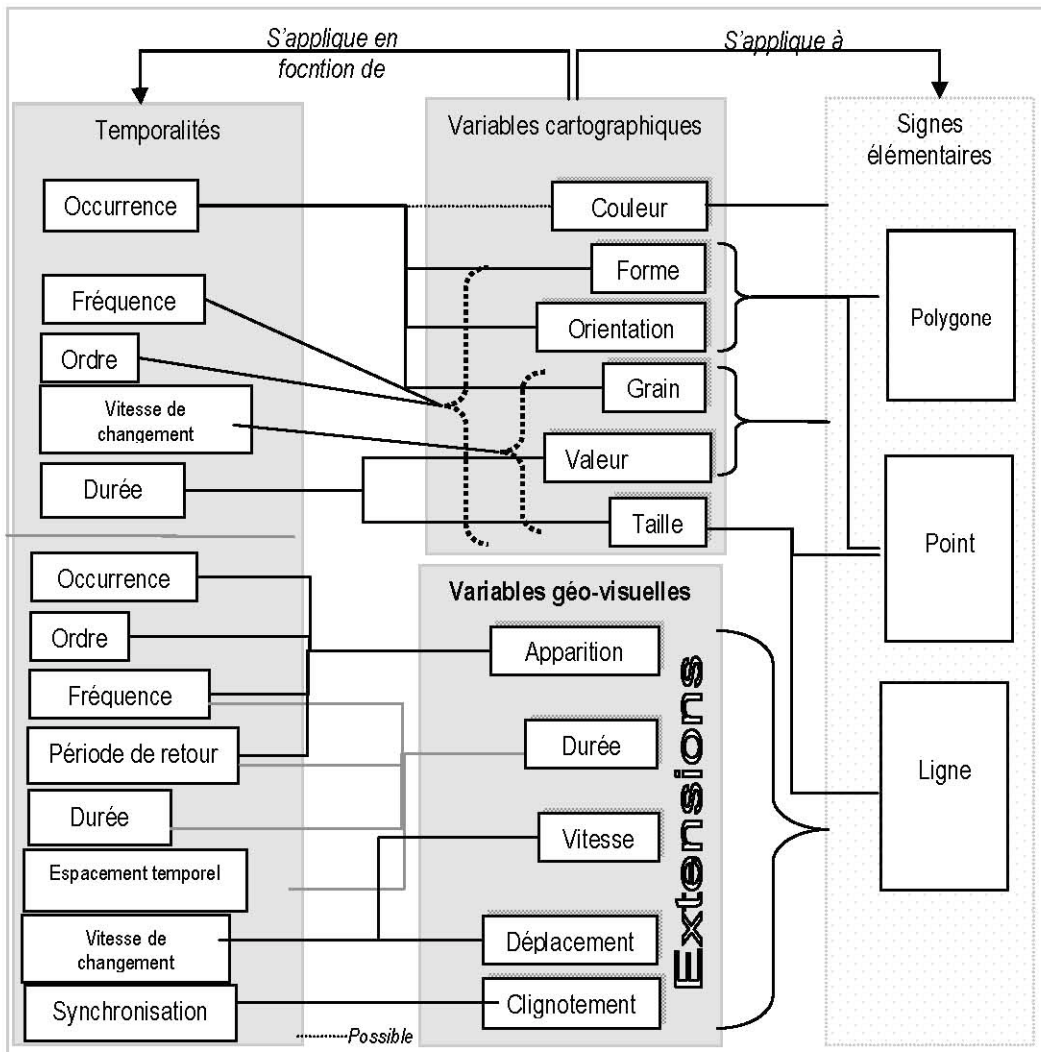


Figure 4 : Modélisation des règles de cartographie et de géo-visualisation

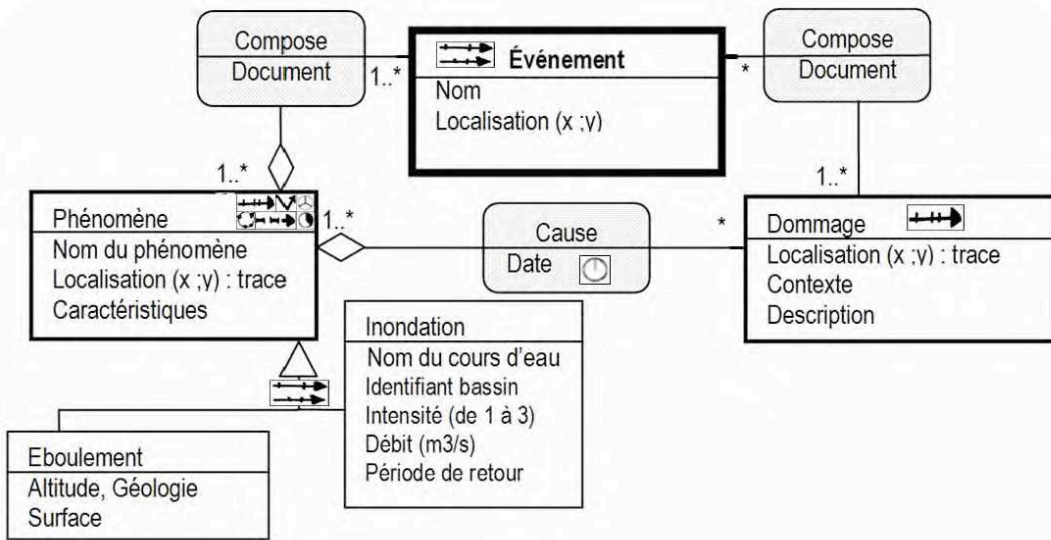


Figure 5 : Application des pictogrammes temporels au diagramme conceptuel représentant la notion d'événements à risques

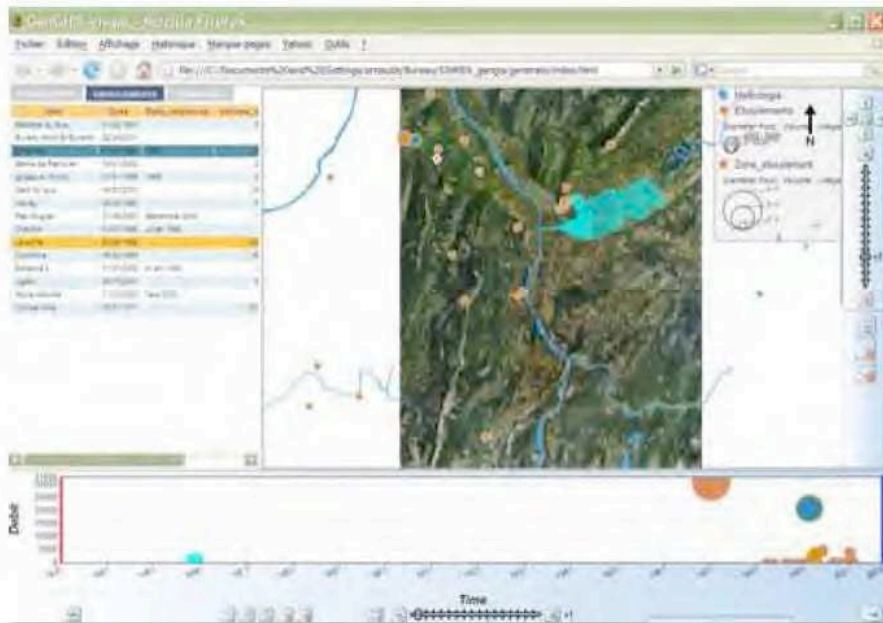


Figure 6 : Application de géo-visualisation générée au moyen de GenGHIS : événements issus de risques dans la région grenobloise