HAL
open science

Géovisualisation pour la réduction de la vulnérabilité socio-spatiale en milieu urbain : le cas de Grenoble

Paule-Annick Davoine, Élise Beck, Isabelle André-Poyaud, Sonia Chardonnel, Céline Lutoff, Anton Telechev

To cite this version:

Paule-Annick Davoine, Élise Beck, Isabelle André-Poyaud, Sonia Chardonnel, Céline Lutoff, et al.. Géovisualisation pour la réduction de la vulnérabilité socio-spatiale en milieu urbain : le cas de Grenoble. Bulletin du Comité Français de Cartographie, 2012, 211, pp.65-84. halshs-04229832

HAL Id: halshs-04229832

https://shs.hal.science/halshs-04229832v1

Submitted on 5 Oct 2023

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.

GÉOVISUALISATION POUR LA RÉDUCTION DE LA VULNÉRABILITÉ SOCIO-SPATIALE EN MILIEU URBAIN

Le cas de Grenoble

par Paule-Annick Davoine, Élise Beck**, Isabelle André-Poyaud***, Sonia Chardonnel***, Céline Lutoff**, Anton Telechev**

** Laboratoire d'Informatique de Grenoble, équipe STEAMER*
681 rue de la Passerelle, BP 7238 402 Saint-Martin d'Hères
Paule-Annick.Davoine@imag.fr

*** Université Grenoble 1 PACTE UMR 5194 (CNRS, IEPG, UJF, UPMF)*
Grenoble, 38041

**** CNRS-Grenoble PACTE UMR 5194 (CNRS, IEPG, UJF, UPMF)*
Grenoble, 38041

Considérant que la réduction de la vulnérabilité de la population face à un risque est basée sur le postulat selon lequel l'information préventive peut influer sur le niveau de perception et de connaissance du risque sismique et donc la vulnérabilité des individus face à ce risque, la détermination d'un indice de vulnérabilité sociale (IVS) offre la possibilité de construire des scénarios de réduction de la vulnérabilité en faisant varier la valeur des indicateurs de connaissance, de perception et d'information ou celle des poids qui leurs sont affectés, influençant ainsi la valeur de l'IVS. Les informations nécessaires à la construction de l'IVS étant collectées par l'intermédiaire d'une enquête sociologique spatialisée effectuée auprès de la population, on obtient un IVS rapporté à des unités spatiales homogènes. Toutefois, l'évaluation de la vulnérabilité doit aussi prendre en compte la variabilité spatio-temporelle des caractéristiques de la population fréquentant un quartier, tantôt résident, tantôt « usager » (effectuant toute activité autre que la résidence ou le transit, à savoir travail, visite, achats, loisirs...). En effet, l'information préventive étant diffusée au lieu de résidence, les individus n'ont pas tous le même niveau d'information, on peut s'attendre à observer des variations spatio-temporelles des IVS en fonction des fréquentations des quartiers au cours de la journée (matin, midi et soir). Lors de la construction de scénarios de réduction de la vulnérabilité, il est nécessaire de prendre en compte ces variations journalières et d'évaluer leurs impacts sur les différents paramètres influant sur l'IVS.

L'objectif de cet article est de présenter les travaux menés dans le cadre d'un projet de recherche financé par le Pôle grenoblois des risques naturels, et liés à la conception et au développement d'un outil de géovisualisation pour l'aide à l'élaboration de scénarios de réduction de la vulnérabilité socio-spatiale. Nous présentons dans un premier temps la méthode d'évaluation des variations spatio-temporelles de la vulnérabilité sociale en milieu urbain, à partir de laquelle sont construits les scénarios de réduction via le système d'information MOVISS_SIST. Ce dernier a été utilisé pour analyser les variations de la vulnérabilité socio spatiale, liées aux risques sismiques à Grenoble. Nos propositions méthodologiques trouvent un intérêt dans la simulation de campagnes d'information.

1 Introduction

Le développement des technologies de l'information et de la communication a contribué à offrir de nouvelles possibilités en termes d'outils d'aide à la décision dans le domaine de la gestion des risques naturels. Parmi les outils développés, certains s'intéressent à la caractérisation de l'aléa, ou à l'évaluation de la vulnérabilité des territoires (Arnaud, 2011), d'autres sont plus impliqués dans la gestion de crises (Cutter, 2003 ; Cova, 1999). En revanche, on s'aperçoit que peu d'outils interviennent sur les aspects liés à la caractérisation de la vulnérabilité des populations. Cutter (2003) note en effet que si des outils d'aide à la décision, notamment les SIG, permettent d'améliorer les conditions d'analyse et de gestion des risques, les besoins sont encore nombreux dans ce domaine, notamment en ce qui concerne l'estimation spatiale et temporelle des populations, prenant en compte les variations d'occupation des bâtiments

(variation diurne-nocturne notamment). En effet, les études existantes considèrent, pour la plupart, la population en son lieu de résidence : elles ne prennent généralement pas en compte les mouvements de populations liés aux activités quotidiennes et professionnelles, qui influent sur l'évaluation de la vulnérabilité sociale, même si des tentatives d'intégrer d'autres populations que les résidents ont été menées (les actifs, par exemple ; Beck et Glatron, 2009).

Par ailleurs, des progrès restent également à faire en termes de prévention et notamment sur l'aide à la mise en place de politique d'information sur les risques. Or, si différentes études ont montré que l'information préventive auprès des populations constitue un des facteurs de réduction de la vulnérabilité sociale par la modification des comportements en temps de crise (Lindell et Barnes, 1986 ; Cutter, 1993 ; Lalo *et al*., 1993 ; Lindell et Perry, 2004 ; Ruin, 2007), il n'en reste pas moins que les outils et méthodes, dédiés à l'évaluation de la vulnérabilité sociale et à la simulation de l'impact de l'information sur la vulnérabilité des populations, restent encore peu développés.

Dans le cadre du projet MOVISS (Beck, 2010), financé par le pôle TUNES de l'Université Joseph Fourier de Grenoble et le Conseil général de l'Isère, par l'intermédiaire du Pôle grenoblois des risques naturels, nous nous sommes intéressés à la définition de méthodes et d'outils pour l'évaluation et la réduction de l'exposition des populations et de la vulnérabilité sociale face aux séismes. On entend ici par vulnérabilité sociale, la vulnérabilité des individus liée à leur perception des risques auxquels ils sont exposés, leur connaissance des consignes à suivre, leur expérience, etc. Notre terrain d'étude concerne la population urbaine de Grenoble, c'est-à-dire l'ensemble des individus qui fréquentent la ville, soit parce qu'ils y habitent, soit en raison de leurs activités professionnelles ou personnelles. L'originalité de notre approche repose sur le postulat selon lequel les variations spatio-temporelles de la répartition de la population urbaine, liées aux mobilités quotidiennes, influent sur l'évaluation de la vulnérabilité sociale. Ainsi, l'élaboration de scénarios de réduction de la vulnérabilité sociale face aux séismes implique de connaître les facteurs (ou déterminants) de la vulnérabilité, d'évaluer son évolution au cours de la journée, puis de proposer une méthode de quantification au moyen d'indices. Cette approche, développée par différents auteurs (D'Ercole, 1996 ; Cutter *et al*., 2000 ; Glatron et Beck, 2008), présente l'intérêt de pouvoir être implémentée dans un système d'information géographique spécifique, permettant d'élaborer des simulations et d'observer l'évolution temporelle de l'exposition d'une part et l'impact possible d'une campagne d'information d'autre part.

L'objectif de cet article est donc de présenter les spécifications d'un système d'information géographique permettant d'une part l'analyse spatio-temporelle de la vulnérabilité sociale d'une ville liée à l'exposition des populations, d'autre part de concevoir des scénarios de réduction de la vulnérabilité en jouant sur ses déterminants. Nous présentons au préalable les principes de la méthode d'évaluation de la vulnérabilité sociale (MOVISS) basée sur la prise en compte des variations spatio-temporelles des individus en milieu urbain. Sur cette base sont définis les principes du système d'information MOVISS_SIST et les éléments nécessaires pour construire des scénarios de réduction de la vulnérabilité. Dans une dernière partie, nous validons nos propositions par une application dédiée au risque sismique sur la ville de Grenoble

2 MOVISS : méthode d'évaluation spatio-temporelle de la vulnérabilité sociale

2.1 Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sociale : état de l'art

La question de la vulnérabilité sociale, en lien avec la perception du risque, a été maintes fois étudiée par les géographes depuis les années 1940 (White, 1945) avec un point culminant dans les années 1970-1980 (Burton *et al.*, 1978 ; Parker et Harding, 1979). Les approches « qualitatives », telles que définies par D'Ercole (1994), car intégrant la dimension psycho-sociologique par le biais des représentations cognitives, ont été traduites de manière quantitative dans les années 1990-2000 au travers de la construction d'indices dont l'utilisation varie en fonction de l'échelle de l'étude et de l'objectif recherché. Les travaux de Cutter ou Chardon, par exemple, s'appuient surtout sur des facteurs territoriaux ; ils n'intègrent pas la dimension individuelle et visent à évaluer une vulnérabilité territoriale (Chardon, 1994 ; Cutter *et al.*, 2000 ; Fekete, 2009), les résultats étant alors représentés cartographiquement. D'aucuns se sont d'ailleurs intéressés à cette question par l'intermédiaire des analyses multi-critères (par exemple Gaillard *et al.*, 2001 ; Dominey-Howes et Minos-Minopoulos, 2004 ; Paradise, 2005). D'Ercole (1996) s'est appuyé sur les réponses individuelles données à un questionnaire. Cependant, ces travaux tendent à étudier préférentiellement les résidents, puisque, souvent, les méthodes d'échantillonnage se basent sur les données de recensement. Or, considérer la

seule population résidente pour évaluer la vulnérabilité sociale d'un espace urbain peut paraître réducteur. Pour cette raison, certaines études se sont intéressées à la vulnérabilité des résidents mais aussi des actifs (Glatron et Beck, 2008). Par ailleurs, la structure et la distribution spatiale de la population évoluent constamment dans le temps, quelle que soit l'échelle temporelle considérée (journée, semaine, année). C'est pourquoi, il peut sembler nécessaire d'affiner les méthodes d'échantillonnage pour prendre en compte les variations de la distribution spatio-temporelle de la population, et intégrer les mobilités, celles-ci constituant un facteur de vulnérabilité important (Ruin, 2007).

2.2 Objectif et principes de la méthode MOVISS

La méthode MOVISS (2012) est basée sur le postulat selon lequel la distribution quantitative et qualitative de la population au sein des différents quartiers d'une ville évolue au cours de la journée, voire de la semaine. On considère que la population présente dans un quartier à un temps t est constituée de trois groupes de personnes : les résidents (qui habitent le quartier), les personnes y transitant et les usagers, c'est-à-dire les personnes qui y effectuent toute autre activité exceptés le transit et la résidence (travail, loisirs, visite à des amis, rendez-vous médical, courses...). Les fonctions et activités urbaines existant au sein des quartiers ont aussi des conséquences sur la répartition sociologique de la population : par exemple certains quartiers peuvent être caractérisés par une sur-représentation de jeunes ou d'actifs sur une période de 8h-18h et par une sur-représentation d'inactifs en soirée. Les quartiers commerciaux ou administratifs sont caractérisés par une forte concentration de population dans la journée alors qu'en soirée ces espaces se vident.

Sur la question des risques, l'information préventive est distribuée différemment aux usagers et aux résidents : ces derniers reçoivent l'information à leur domicile. Les usagers sont eux-mêmes des résidents mais d'un autre quartier ou d'une autre commune et peuvent recevoir des informations différentes. En principe, les résidents sont susceptibles d'avoir une meilleure connaissance de leur quartier (en fonction de leur durée de résidence). Partant du postulat que l'information et le vécu des populations influencent leur perception de leur environnement et *a fortiori* des risques auxquelles elles sont exposées (Lynch, 1960 ; Lindell et Perry, 2004), on peut alors s'attendre à observer des résultats différents en termes de vulnérabilité sociale entre usagers et résidents.

Nous proposons donc une méthode pour l'évaluation spatio-temporelle de la vulnérabilité, en nous basant sur des données de mobilité quotidienne. L'objectif est *in fine* de prendre en compte des différenciations spatiales de vulnérabilité en vue de la réduire. La démarche propose donc d'identifier, par l'intermédiaire d'une enquête, les déterminants de la vulnérabilité sociale, et de quantifier cette vulnérabilité au moyen d'indices spatio-temporels liés aux variations d'exposition. Ces indices permettront de construire des scénarios de réduction de la vulnérabilité par une intervention plus ciblée à la fois sur les déterminants et sur les entités géographiques choisies. Afin de définir les facteurs déterminants de vulnérabilité sociale, la méthode a été testée sur le cas particulier de la menace sismique.

2.3 Intégrer la mobilité quotidienne des populations dans l'étude de la vulnérabilité sociale

La prise en compte de la dimension spatiale et temporelle dans l'étude de la vulnérabilité sociale implique de s'interroger sur la constitution de l'échantillon de population nécessaire à la réalisation de l'enquête sociologique : le principe adopté pour constituer l'échantillon est de composer une sous-population représentant la variété des personnes présentes aux différentes heures de la journée et dans les différents quartiers de la ville. Sont prises en considération les populations résidentes et les usagers tels que nous les avons définis dans le paragraphe précédent.

Pour connaître les caractéristiques des populations fréquentant les différents quartiers d'une ville, il est nécessaire d'utiliser des données décrivant les déplacements quotidiens des personnes. En France, les enquêtes les plus détaillées portant sur les déplacements des personnes dans les grandes agglomérations françaises sont les enquêtes ménages et déplacements (EMD). Elles couvrent le plus souvent plusieurs communes d'une agglomération voire d'une région urbaine - correspondant à la zone d'influence de la commune centrale. Ces enquêtes portent sur un échantillon représentatif des ménages de la zone d'enquête ; elles décrivent l'ensemble des déplacements d'une journée de semaine de chaque membre des ménages enquêtés ainsi que leurs caractéristiques sociales. Par extrapolation, elles permettent ainsi de reconstituer les variations spatio-temporelles de la distribution de la population dans son ensemble ou de sous-groupes sociologiquement définis.

2.4 Quantifier la vulnérabilité sociale

La quantification de la vulnérabilité sociale des populations face aux séismes est basée sur la construction d'un indice de vulnérabilité sociale (IVS) (Beck et al., 2010). Cet indice est calculé à partir des réponses aux questionnaires faites par les répondants. Cette méthode nécessite deux étapes :

- La première consiste à attribuer un score à chaque question selon les réponses. Ensuite, pour chaque groupe de questions qui correspondent à un thème (perception, connaissance du phénomène ou connaissance des comportements à suivre), un sous-indice est calculé. Ces sous-indices correspondent à la moyenne des scores et sont normalisés sur une échelle de 0 à 20. Ainsi, nous obtenons trois sous-indices pour quantifier le niveau de perception du risque, le niveau de connaissance du phénomène et le niveau de connaissance des comportements de la population à suivre en cas de séisme.

- Deuxièmement, un indice de vulnérabilité sociale est calculé en faisant la moyenne des sous-indices. Une valeur faible de l'IVS indique une faible vulnérabilité.

Ainsi, pour chaque individu et pour chaque unité territoriale, un indice de vulnérabilité sociale et les sous-indices mesurant le niveau de la perception (IP), le niveau de connaissance du phénomène (ICP) et le niveau de connaissance des comportements (ICC), sont calculés et déclinés selon les différentes granularités temporelles étudiées. La figure 1 présente une synthèse de la méthode de calcul de l'IVS.

Dans un premier temps, nous considérons que ces déterminants sont impliqués d'une manière équivalente dans le calcul de l'IVS et en conséquence, aucun poids n'est attribué aux différents sous-indices. Cependant, il est possible d'envisager de donner plus de poids à l'un ou l'autre sous-indice en fonction des objectifs. Pour cette raison, nous proposons de construire des scénarios de vulnérabilité sociale en changeant la valeur des différents sous-indices ou les poids qui leur sont assignés. Ainsi, selon les résultats observés en simulant une campagne d'information qui pourrait avoir amélioré le sous-indice de la connaissance des risques (et modifié plus généralement la vulnérabilité), il est possible de contribuer à l'orientation des politiques spatiales de l'information préventive.

3 Spécifications de MOVISS_SIST, un système d'information spatio-temporelle pour la construction de scénarios de réduction de la vulnérabilité sociale

3.1 Approche méthodologique

La construction de scénarios de réduction de vulnérabilité doit s'appuyer sur un outil de type système d'information géographique permettant 1) de rassembler et d'organiser les données produites issues de l'enquête socio-spatiale ; 2) de proposer des fonctionnalités de calcul des indices de vulnérabilité sociale ; 3) de visualiser les données liées à la caractérisation des variations spatio-temporelle de la vulnérabilité sociale ; 4) d'interagir sur la valeur et le poids des déterminants de la vulnérabilité.

Dans ce cas précis, l'idée est d'évaluer l'impact d'une campagne d'information en faisant varier les déterminants de la vulnérabilité sociale. Ainsi, la construction des scénarios doit reposer sur une démarche exploratoire dans laquelle la relation « données - cartes - utilisateur » joue un rôle important (Banos, 2001). Il s'agit donc de permettre à l'utilisateur de naviguer en toute liberté dans le jeu de données au moyen d'une interface graphique interactive, déambulant au gré de ses intuitions, des hypothèses qu'il s'est fixé et des résultats obtenus via l'analyse des représentations cartographiques. Cette capacité de navigation nécessite la création d'une interface de géovisualisation adaptée d'une part aux spécificités des données manipulées, d'autre part aux fonctionnalités nécessaires à la résolution des objectifs.

Or, les systèmes d'information géographique ne présentent pas toujours les fonctionnalités nécessaires à l'analyse exploratoire des données (Banos, 2001), notamment lorsqu'il s'agit de gérer et représenter des données temporelles ou de concevoir des interfaces d'analyse exploratoire de données spatiales. En ce qui concerne la construction exploratoire de scénarios, très peu d'outils se sont intéressés à cette problématique. Généralement, les outils de simulation représentent un ensemble de scénarios bien identifiés et construits préalablement. Ils s'appuient sur l'association ou le couplage de plusieurs outils tels que des tableurs, des logiciels spécifiques de simulation et un système d'information géographique, afin d'assurer une représentation cartographique des résultats. Ainsi, la modification d'une valeur associée à l'un des paramètres du modèle nécessite de reprendre toute la chaîne de traitement impliquant l'exécution des différents logiciels utilisés et des manipulations de fichiers plus ou moins com-

plexes (changement de formats, intégration des données dans le logiciel...). Généralement, l'association de différents outils implique la définition de plusieurs schémas conceptuels et de modèles de représentation variés. Ceci ne facilite pas l'échange et l'interopérabilité des méthodes et des données et ne contribue pas à l'exploration aisée des différents scénarios.

Par ailleurs, la problématique de l'évaluation de la vulnérabilité s'inscrit dans une démarche spatio-temporelle impliquant l'utilisation de données multidimensionnelles, caractérisées par des composantes attributaires, spatiales et temporelles, ce que les SIG classiques ne prennent pas en compte. S'impose donc la nécessité de proposer un environnement informatique qui puisse offrir un schéma conceptuel et un modèle de représentation adaptés d'une part à l'analyse spatio-temporelle de la vulnérabilité sociale et d'autre part à la construction de scénarios de réduction de cette vulnérabilité.

Parmi l'ensemble des outils et méthodologies disponibles, nous avons choisi d'utiliser GenGHIS, un générateur de systèmes d'information dédiés aux risques naturels (SIRN), développé par l'équipe STEAMER du LIG (Davoine et al., 2006 ; Moisuc et al., 2005)). GenGHIS permet la création d'un SIRN en prenant en charge toutes les étapes, de la modélisation des données à la conception et à la création d'une interface de géovisualisation multidimensionnelle et interactive. L'originalité de GenGHIS se situe dans les interfaces que cet outil permet de générer (fig. 2). Celles-ci sont basées sur une vision pluridimensionnelle de l'information avec des modalités de visualisation adaptées à chaque dimension de l'information (spatiale, temporelle et attributaire) et à leurs caractéristiques. Ainsi, les interfaces générées par GenGHIS permettent 1) la visualisation de données géographiques (matricielles et vectorielles) en lien avec leur contexte spatial, temporel et thématique sous forme de vues multiples et interconnectées entre elles ; 2) la production de cartes interactives et multimédias ; 3) l'interrogation des données via des requêtes spatiales, temporelles, spatio-temporelles et thématiques. Par ailleurs, GenGHIS présente l'intérêt non seulement de supporter une base de connaissances permettant d'une part de stocker les données et d'autre part d'inférer des règles spécifiques (notamment des règles de calcul). L'ensemble des fonctionnalités proposées par l'environnement GenGHIS contribue à la mise en place d'une démarche exploratoire nécessaire à la construction de scénarios de réduction de la vulnérabilité sociale. C'est donc à partir de l'environnement de développement GenGHIS que nous avons pu créer MOVISS_SIST, un système d'information spatio-temporelle pour l'évaluation et la réduction de la vulnérabilité sociale.

3.2 Architecture et fonctionnalités de l'outil MOVISS_SIST

L'objectif du système d'information proposé est donc de permettre l'analyse et la simulation des variations spatio-temporelles de la vulnérabilité sociale d'une ville selon le principe de la méthode MOVISS présentée au paragraphe 2. D'un point de vue fonctionnel, il s'agit d'offrir à l'utilisateur la possibilité de faire varier les valeurs des sous-indices (IC, ICP, ICC), ainsi que celles des poids qui leur sont affectés, et d'assurer le calcul des indices de vulnérabilité selon les différents niveaux de granularité temporels et spatiaux. À partir de l'analyse des résultats, l'idée est aussi de donner à l'utilisateur la possibilité de créer autant de scénarios qu'il le souhaite.

Pour atteindre ces objectifs, l'application MOVISS_SIST est composée de trois principaux modules (fig. 3) :

Une base de connaissances.

Un module de visualisation des scénarios.

Un module de saisie des scénarios.

La base de connaissances a pour fonction d'assurer l'intégration des données et des règles de calcul nécessaires à la construction des indices de vulnérabilité sociale. Dans MOVISS, les données issues de traitements statistiques sont relativement homogènes et structurées, et sont définies selon un maillage géographique homogène (le quartier) et une granularité temporelle correspondant à des intervalles de temps ou des périodes définis (matin, midi, début d'après-midi, soirée-nuit). Ainsi, la base de connaissance intègre aussi bien les données thématiques que les données géographiques (matricielles ou vectorielles) nécessaires à la représentation cartographique. Plusieurs groupes de données thématiques sont identifiés :

Les données de référence : il s'agit des données socio-démographiques caractérisant la population enquêtée.

Les données produites correspondant aux sous-indices de vulnérabilité, issues des résultats de l'enquête.

Les données calculées : il s'agit de l'IVS, des sous-indices.

Les paramètres de pondération affectés aux sous-indices.

3.3 Interface de géovisualisation interactive et multivue

L'interface de géovisualistion a un double objectif :

1) Permettre à l'utilisateur d'appréhender rapidement, au moyen de représentations cartographiques :

• Les différenciations spatiales de la vulnérabilité et les déterminants influençant ces différenciations : comment se répartit la vulnérabilité sociale sur le territoire étudié ? Existe t-il des variations spatiales significatives ? Quels sont les indices ou déterminants qui influent sur ces variations (le niveau de connaissance, de perception ou de comportement) ? Ces déterminants interviennent-ils de façon équivalente selon les régions ou les quartiers ?

• Les variations temporelles de la vulnérabilité socio-spatiale au cours de la journée : observe t-on des changements dans l'indice de vulnérabilité sociale au cours des différentes périodes de la journée ? Comment s'effectuent ces variations ? Ces changements sont-ils homogènes sur l'ensemble du territoire étudié ? Quels sont les facteurs de ces changements (le niveau de connaissance, le niveau de comportement ou le niveau de perception) ?

2) Permettre à l'utilisateur de visualiser les valeurs des indices et des déterminants afin d'élaborer des scénarios de réduction de la vulnérabilité

Compte tenu des objectifs à atteindre, des contraintes méthodologiques et des caractéristiques des données nécessaires à l'élaboration des scénarios, nous proposons de structurer l'interface de géovisualisation en deux fenêtres interconnectées entre elles (fig. 4) :

• Une fenêtre attributaire affichant sous forme d'un tableau, les données attributaires nécessaires au calcul de l'indice de la vulnérabilité sociale (IVS).

• Une fenêtre spatio-temporelle affichant la répartition géographique et temporelle de l'IVS ainsi que de ses déterminants.

Au sein de la fenêtre attributaire, les données sont d'affichées, sous forme de matrices d'informations spatio-chronologiques où les lignes sont les unités spatiales et les colonnes les instants, en l'occurrence les périodes étudiées (matin, midi et soir). Pour une meilleure lecture et exploration de l'information, chaque indice (IVS, IC, IP, IC) fait l'objet d'une matrice d'information spatio-chronologique, accessible de façon successive par l'activation d'un onglet.

Afin de pouvoir explorer l'ensemble des données, la fenêtre attributaire est composée de quatre onglets, correspondant chacun aux différents indices (indice de vulnérabilité sociale, indice de connaissance, indice de perception et indice de comportement). L'activation d'un onglet permet à l'utilisateur de visualiser la ou les matrices géographiques contenant les données de chaque indice et d'afficher les représentations cartographiques correspondantes (fig. 4).

La conception de la fenêtre spatio-temporelle nécessite de s'interroger sur la façon dont la dimension temporelle des données géographiques peut être cartographiée. L'objectif ici est de montrer les changements sur un temps court (la journée) et discontinu (des instants correspondant à trois périodes successives de la journée). D'un point de vue de la géovisualisation, le temps est souvent représenté par l'animation et / ou l'interactivité (Kraak, 2007).

L'animation peut présenter l'intérêt de mettre en évidence les dynamiques spatiales en les représentant entre un temps To et un temps Tx selon le niveau de granularité défini par les données. Elle s'attache à représenter les changements sur des entités fixes pour lesquelles la géométrie ou la localisation n'évolue pas, ou sur des entités modifiables, transformables ou déformables, c'est-à-dire pour lesquelles la géométrie et les valeurs évoluent ou non au cours du temps (Cheylan, 2007). Cependant, tout le monde s'accorde à dire que le processus visuel et cognitif est fortement perturbé lors de la lecture de la carte, et que pour rendre compte des dynamiques ou des différenciations spatiales, l'animation doit au moins être associée à un certain niveau d'interactivité (Kraak, 2010). L'interactivité associée à l'animation apporte un supplément de confort pour la lecture de la carte animée et l'identification des structures spatio-temporelles. En interagissant sur l'animation (arrêt, réactivation, retour arrière, sélection d'une échelle de temps, d'une granularité temporelle ou d'une période ...), ou sur la carte elle même, permettant ainsi d'accéder à de l'information complémentaire, le lecteur construit son propre cheminement d'exploration, prenant le temps d'identifier progressivement des objets ou des formes géographiques ou des structures spatiales. Toutefois, lorsque les changements portent sur les valeurs des objets sans transformation ou modification de géométrie ou de localisation (entités fixes), l'animation consiste en un affichage successif d'états à différents instants, et réglé selon un pas de temps défini par le niveau de granularité temporelle du jeu de données. On s'aperçoit que lorsque le nombre d'instants est peu important, l'affichage simultané, sous forme de collection de cartes, reste plus pertinent, pour la perception et la compréhension des phénomènes spatio-temporels, qu'une animation que l'on doit réactiver plusieurs fois, voire faire tourner en boucle afin d'en comprendre le message.

Dans notre cas, les changements s'appliquent sur les attributs des objets, i.e. la valeur des indices, et non pas sur les objets spatiaux (il n'existe pas de transformation, de modification ou de déplacement des entités spatiales). Le lecteur doit pouvoir identifier les variations spatiales du phénomène à travers une lecture comparée de trois séquences spatiales (matin, midi et soir, correspondant respectivement à 8h-14h, 14h-18h et 18h-8h). Cette comparaison peut s'effectuer aisément au moyen d'une collection de cartes : chaque carte représente la répartition de l'indice à un instant donné, et la lecture simultanée des cartes permet d'identifier les variations temporelles du phénomène étudiée.

Ainsi, nous avons proposé de structurer la fenêtre spatiale en différentes vues, reprenant ainsi le principe de la collection de cartes. À chaque vue est associée une carte représentant la répartition géographique de l'indice sélectionné à un instant donné (période temporelle). Ici la dimension temporelle est directement intégrée dans la fenêtre spatiale qui devient alors spatio-temporelle. Les cartes proposées dans les vues sont d'une part interactives, offrant à l'utilisateur la possibilité de sélectionner une entité géographique de son choix, d'autre part synchronisées entre elles (fig. 4). Ainsi, l'interface de géovisualisation de MOVISS_SIST bénéficie d'une double synchronisation qui s'effectue de façon simultanée au moyen de l'interactivité (fenêtre cartographique - la fenêtre spatiale ; synchronisation entre les vues cartographiques). Ce procédé offre à l'utilisateur une lecture orthogonale du temps et de l'espace permettant d'identifier rapidement les variations de l'IVS aussi bien au niveau global que local.

3.4 Module construction de scénarios

Il s'agit d'offrir à l'utilisateur la possibilité d'accéder facilement aux données, et notamment aux valeurs des paramètres influant sur l'IVS (sous-indices, poids...) afin de pouvoir les modifier, Cette fonctionnalité est assurée par l'interface présentée en figure 5. Une fois les valeurs des poids ou indices modifiées directement par l'utilisateur, les cartes sont régénérées et mises à jour dans l'interface de géovisualisation. Afin de valider nos propositions, nous les avons testées sur un cas d'étude : celui du risque sismique sur la ville de Grenoble.

4 Application à l'analyse de la vulnérabilité sociale aux séismes à Grenoble

La ville de Grenoble est exposée à différents risques et, parmi eux, le risque sismique. Certes, la sismicité y est modérée, mais le contexte tectonique est favorable à l'occurrence d'un séisme pouvant atteindre une magnitude 6. La population grenobloise n'étant pas habituée à de tels événements, on peut supposer une vulnérabilité sociale importante, même si une information préventive est diffusée au niveau communal (via par exemple le dossier d'information communal sur les risques majeurs). Par ailleurs, les communes situées dans la zone d'attractivité de Grenoble étant en termes d'exposition aux risques naturels particulièrement différenciées, on peut penser que les populations qui fréquentent Grenoble pour leurs activités usuelles (travail, loisirs, achats...) sans y habiter ne reçoivent pas le même niveau d'information tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif, et présentent ainsi une vulnérabilité sociale très variable face aux séismes. Nous avons donc souhaité évaluer la vulnérabilité socio-spatiale de la ville de Grenoble, en prenant en compte l'ensemble des populations fréquentant la ville de Grenoble au cours de la journée et évaluer, à l'aide de l'outil de simulation MOVISS-SIST, l'impact d'une campagne d'information préventive en termes de réduction de la vulnérabilité.

4.1 Application de la méthode MOVISS à l'analyse de la vulnérabilité sociale de Grenoble

Pour atteindre nos objectifs, et conformément à la méthode MOVISS exposée ci-dessus, l'évaluation de la vulnérabilité est basée sur une enquête sociale permettant l'identification des déterminants. À partir des résultats de l'EMD de la grande région urbaine grenobloise réalisée en 2002 (André-Poyaud *et al*., 2008 ; Tabaka, 2009) et en se basant sur la méthode des quotas, il est possible de construire un échantillon spatio-temporel, définissant le nombre (quantification) de personnes aux différentes périodes de la journée dans les différentes zones de la ville ainsi que les types de profils (qualification) des personnes. Deux types de quotas sont définis pour chacune des différentes zones de la ville : un quota simple reprenant la répartition de la structure par âge des personnes présentes et un quota croisé reprenant, à différents moments de la journée préalablement identifiés, la répartition des personnes selon leur statut de résident ou d'usager. Le tableau 1 présente les caractéristiques de l'échantillon spatio-temporel. Au final, 1004 personnes ont été interrogées en face à face dans la rue. Le maillage spatial retenu est celui proposée par l'EMD qui découpe Grenoble en 13 secteurs de tirage. La granularité temporelle correspond à quatre plages horaires ; 8h-12h, 12h-14h, 14h-18h, après 18h.

Le tableau 2 présente les principaux résultats sur les déterminants de la vulnérabilité sociale de la ville de Grenoble. Les résultats de l'enquête sont présentés en détail dans le rapport du programme de recherche associé (Beck et al., 2010).

Pour l'ensemble de l'échantillon, la moyenne de l'indice de vulnérabilité est de 8.8 sur 20. Cette valeur nous permet de dire que la vulnérabilité de la population échantillonnée est moyenne (0 correspondant à une faible vulnérabilité, 20 à une forte). L'enquête a montré que la qualification, l'âge, les professions et catégories sociales mais aussi le quartier d'appartenance constituent des déterminants de la vulnérabilité sociale. La figure 6 présente la répartition géographique de la vulnérabilité. En revanche, la différence entre les usagers (IVS = 8,7) et les résidents (IVS = 8,9) n'est pas significative.

4.2 Intégration des indices de vulnérabilité dans l'outil MOVISS_ SIST

Une fois les données acquises et traitées, celles-ci sont intégrées dans MOVISS_SIST. La figure 7 montre les résultats obtenus. On observe effectivement des variations de l'IVS en fonction des périodes de la journée. Toutefois ces variations sont hétérogènes, selon les quartiers : pour certains d'entre eux, tels que l'île Verte (à l'ouest) ou la Villeneuve (au sud), l'IVS reste relativement stable dans le temps. En revanche, pour d'autres quartiers, la vulnérabilité sociale augmente au cours de la journée. C'est par exemple le cas des quartiers Malherbe et Capuche, pour lesquels la vulnérabilité a tendance à augmenter le soir, alors que pour les quartiers Berriat ou Reyniès Bayard-Village Olympique, la vulnérabilité sociale est plus importante l'après-midi. En revanche, d'autres quartiers à caractère administratif ou commercial, tels que Grands Boulevards, Esplanade-Championnet, où la proportion d'usagers est importante, sont plutôt caractérisés par une baisse de la vulnérabilité dans la soirée (fig. 8).

La visualisation proposée par MOVISS_SIST permet de mettre en évidence les secteurs géographiques où il est important d'améliorer l'information préventive, mais aussi d'identifier les groupes de populations (résidents ou usagers). Par exemple, nous observons qu'il est important de diffuser l'information aux usagers au sein de certains quartiers comme les Grands Boulevards ou Administration-Albert 1er. Par ailleurs, il semble nécessaire de procéder à une campagne d'information plus ciblée dans les quartiers résidentiels comme Mistral ou Malherbe Capuche.

MOVISS_SIST peut être utilisé pour élaborer des scénarios de réduction de la vulnérabilité selon différentes approches :

- Une approche spatiale : à partir de l'analyse spatiale de la répartition de la vulnérabilité, il est donc possible d'identifier les quartiers sur lesquels une campagne d'information doit être ciblée.

- Une approche temporelle et spatio-temporelle : à quelle période de la journée, il peut être plus pertinent d'intervenir en termes d'information auprès des populations ?

- Une approche thématique : Sur quels types d'informations (attitudes à adopter en cas d'événements majeurs, connaissance du risque ...) les autorités doivent-elles communiquer ?

5 Conclusion

Nous avons proposé une méthode (MOVISS) et un outil (MOVISS_SIST) permettant d'évaluer et de visualiser la vulnérabilité sociale aux séismes, par le biais de la création d'une enquête socio-spatiale et le développement d'un système d'information spatio-temporelle dédié aux risques naturels. Nous avons appliqué notre méthodologie au risque sismique à Grenoble. La méthode d'enquête MOVISS, basée sur les déplacements quotidiens des individus, a permis d'affiner les études classiques de la vulnérabilité sociale en tenant compte des variations spatiales et temporelles de l'exposition des populations au cours de la journée, variations liées à leurs activités professionnelles ou personnelles.

L'application MOVISS_SIST, développée au moyen de l'environnement GenGHIS, offre la possibilité d'appréhender la vulnérabilité sociale et ses déterminants (niveaux de perception, de connaissance du phénomène et de connaissance des comportements à suivre), selon une approche spatio-temporelle. Cette application étant dotée d'une interface interactive, elle permet à l'utilisateur d'agir sur le calcul des IVS, en modifiant la valeur des sous-indices et éventuellement des poids qui leurs sont affectés. À terme, cet outil devrait offrir la possibilité d'élaborer des simulations de répartition spatiale et temporelle de la vulnérabilité. En agissant sur ces indices, l'utilisateur pourrait alors construire des scénarios de réduction de vulnérabilité sociale et identifier les secteurs et les périodes sur lesquels les campagnes d'information doivent être portées en priorité. En cela, la méthode MOVISS constitue une aide à la décision dans un domaine de la prévention des risques encore assez peu outillé.

Nous supposons que nos propositions méthodologiques et technologiques sont suffisamment génériques pour être appliquées à d'autres risques et d'autres contextes spatio-temporels, cependant ceci reste à tester. Néanmoins, ce travail ouvre plusieurs perspectives. Tout d'abord, la formalisation des scénarios doit être précisée afin qu'ils puissent être exécutés et pour pouvoir observer les résultats de l'impact des campagnes de prévention sur les différents groupes sociaux ou sur les quartiers. Par ailleurs, la méthodologie pourrait être améliorée en affinant la granulométrie temporelle considérée et en prenant en compte les variations hebdomadaires ou saisonnières de la répartition de la population. En cela, la méthode MOVISS pourrait également constituer un outil de base pour approfondir la connaissance encore très lacunaire que nous avons de la variabilité de l'exposition des populations à un risque donné.

Bibliographie

André-Poyaud I., Chardonnel S., Charleux L., Tabaka K., 2008, « La mobilité au cœur des emplois du temps des citadins », dans Chalas Y, Paulhiac F. (dir), *La mobilité qui fait la ville*, Certu, Lyon, p. 67-95.

Arnaud A., Davoine P-A., 2011, « Approche cartographique et géovisualisation pour la représentation de l'incertitude : application à l'information dédiée aux risques naturels », *Revue internationale de géomatique*, vol. 21/1, p. 205-224.

Banos A., 2001 : « A propos de l'analyse spatiale exploratoire des données », *Cybergeo : European Journal of Geography*, Systems, Modelling, Geostatistics, Article 197,. URL : http://cybergeo.revues.org/index4056.html..

Beck E., André-Poyaud I., Chardonnel S., Davoine P.-A., Lutoff C., 2010, *MOVISS : méthodes et outils pour l'évaluation de la vulnérabIlité sociale aux séismes – rapport final.* Programme Pôle grenoblois des risques naturels, 75 p.

Beck E, André-Poyaud I., Davoine P.-A., Chardonnel C., Lutoff C., 2012, "Risk perception and social vulnerability to earthquakes in Grenoble (french Alps)", *Journal of Risk Research*, DOI:10.1080/13669877.2011.652649.

Beck E., Glatron S., 2009, « Vulnérabilité socio-spatiale aux risques majeurs : l'approche du géographe », dans *Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*, Becera S., Peltier A. (dir), L'Harmattan, coll. Sociologies et Environnement, p. 331-346.

Burton I., Kates R.W., White G.F., 1978, *The environment as hazard*, Oxford University Press.

Chardon A.-C., 1994, « Étude intégrée de la vulnérabilité de la ville de Manizales (Colombie) aux risques naturels », *Revue de géographie alpine*, 1994.4, p. 97-111.

Cheylan J.-P., 2007, « Les processus spatio-temporels : quelques notions et concepts préalables à leur représentation », *Les dossiers de Mappemonde « Cartographie animée »,* n°87 (3-2007), 21 p.

Cova, T.J., 1999, « GIS in emergency management », dans *Geographic Information Systems: Principles, Techniques, Applications, and Management*, Longley, P., Goodchild, M.F., Maguire D., Rhind D. (eds), p. 845-858.

Cutter S. L., 1993, *Living with risk. The geography of technological hazards*, London, Edward Arnold Ed.

Cutter S. L., 2003, "The Vulnerability of Science and the Science of Vulnerability", *Association of American Geographers*, 93(1), p. 1-12.

Cutter S. L., Mitchell J. T., Scott S. M., 2000, "Revealing the vulnerability of people and places : a case study of Georgetown County, South Carolina", *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 90 n°4, p. 713-737.

Davoine P.-A., Moisuc B., Gensel J., Martin H., 2006 : « SIHREN Conception de Systèmes d'Information Spatio-Temporelle dédié aux Risques Naturels », *Revue Internationale de géomatique*, n° spécial vol 16, p. 3-4.

D'Ercole R., 1994, « Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse », *Revue de géographie alpine*, vol. 4, p. 87-96.

D'Ercole R., 1996, « Représentations cartographiques des facteurs de vulnérabilité des populations exposées à une menace volcanique. Application à la région du volcan Cotopaxi (Equateur) », *Bull. Inst. études andines*, 25(3), p. 479-507.

Dominey-Howes D., Minos-Minopoulos D., 2004, « Perceptions of hazard and risk on Santorini », *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 137, p. 285-310.

Fekete A., 2009, "Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, p. 393–403.

Gaillard J.-C., D'Ercole R., Leone F., 2001, "Cartography of Population Vulnerability to Volcanic Hazards and Lahars of Mt Pinatubo (Philippines): Case of Pasig-Potrero River Basin (Province of Pampanga)", *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3/2001, p.209-222.

Glatron S., Beck E., 2008, “Evaluation of socio-spatial vulnerability of citydwellers and analysis of risk perception: industrial and seismic risks in Mulhouse”, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*., 8: p. 1029–1040.

Kraak M.-J., Edsall R. et 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, 1997, p. 253-260.

Kraak M.-J., Oormeling F., 2010, *Cartography, visualization of spatial data*, The Guilford Press, Third Edition.

Lalo A., Sala F., Martin J., Glatron S., Bertrando B., Lefeuvre S., *1993 : 9 novembre 1992. Accident à l’usine TOTAL de la Mède. Comment les populations ont-elles réagi ? Rapport technique réalisé pour la société TOTAL et les mairies de Martigues et Châteauneuf-lès-Martigues*, Crisis, Nice, 132 p.

Lindell M.K., Perry R.W., 2004, *Communicating Environmental Risk in Multiethnic Communities*, Thousand Oaks CA: Sage.

Lindell M. K., Barnes V. E., 1986, “Protective response to technological emergency: risk perception and behavioral intention”, *Nuclear Safety*, 27(4): p. 457-467.

Lynch K., 1960, *The Image of the City*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, 202 p.

Moisuc B., Davoine P-A, Gensel J., Martin H., 2005, « GenGHIS : 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.

Paradise T. R., 2005, “Perception of earthquake risk in Agadir, Morocco: a case study from a muslim community”, *Environ. Hazards*, 6(3), p.167–180.

Parker D. J. and Harding D. M., 1979, “Natural hazard evaluation, perception and adjustment”, *Geography*, 64(4), p. 307–316.

Ruin I., 2007, *Conduite à contre-courant. Les pratiques de mobilité dans le Gard : facteur de vulnérabilité aux crues rapides*, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble I.

Tabaka K., 2009, *Vers une nouvelle socio-géographie de la mobilité quotidienne. Etude des mobilités quotidiennes des habitants de la région urbaine de Grenoble*, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble I.

White G.F., 1945, *Human adjustement to flood*, Research paper 29, University of Chicago, Department of Geography.

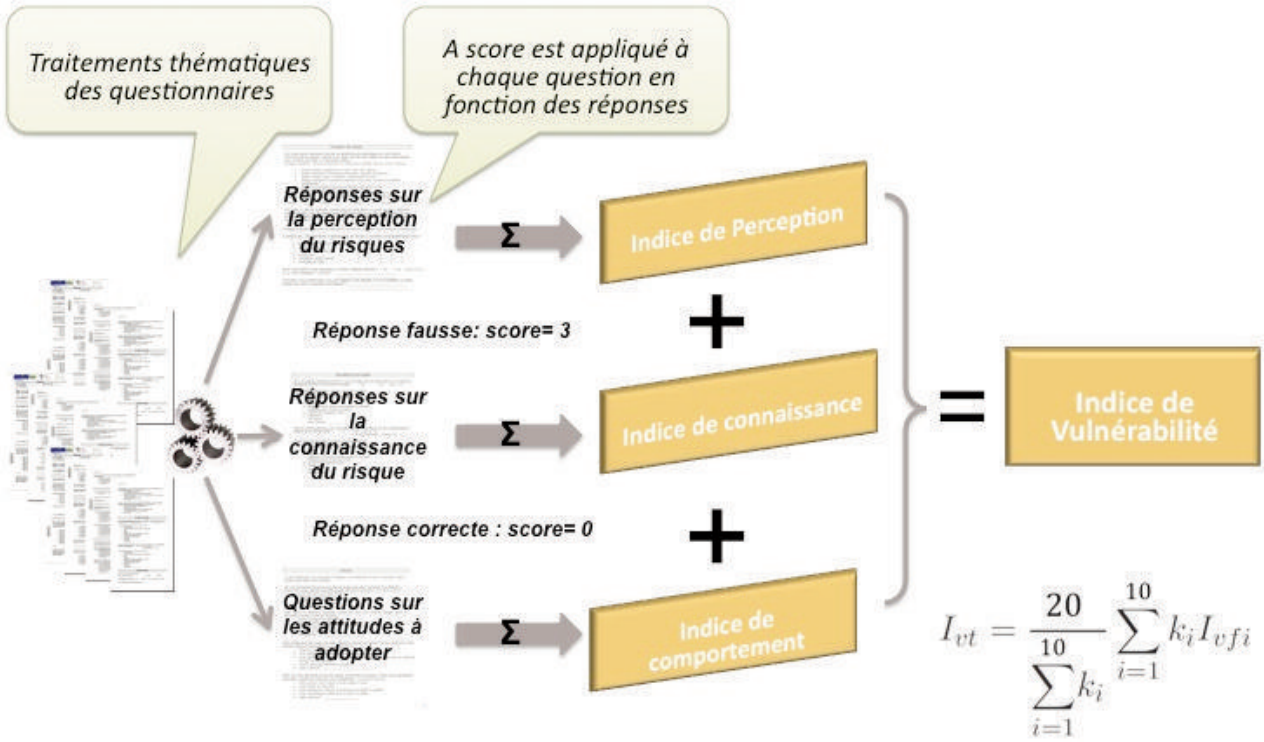

Figure 1 : Méthodologie pour le calcul de l'Indice de Vulnérabilité Sociale

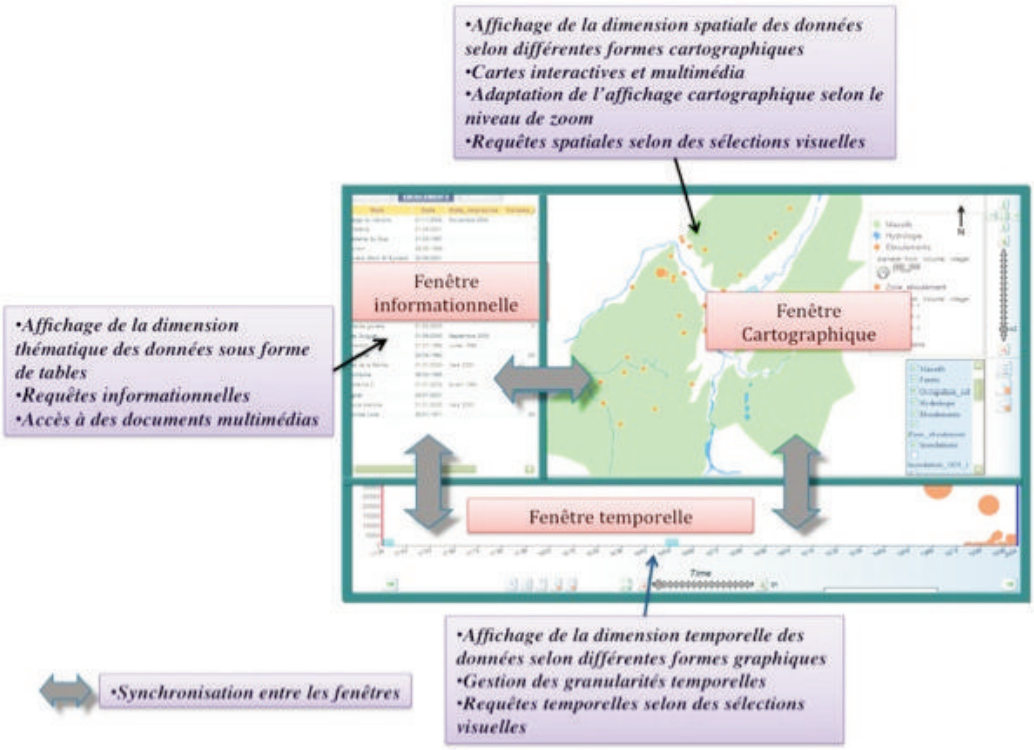

Figure 2 : Principes de fonctionnement de GenGHIS (Davoine, 2006 ; Moisuc 2005)

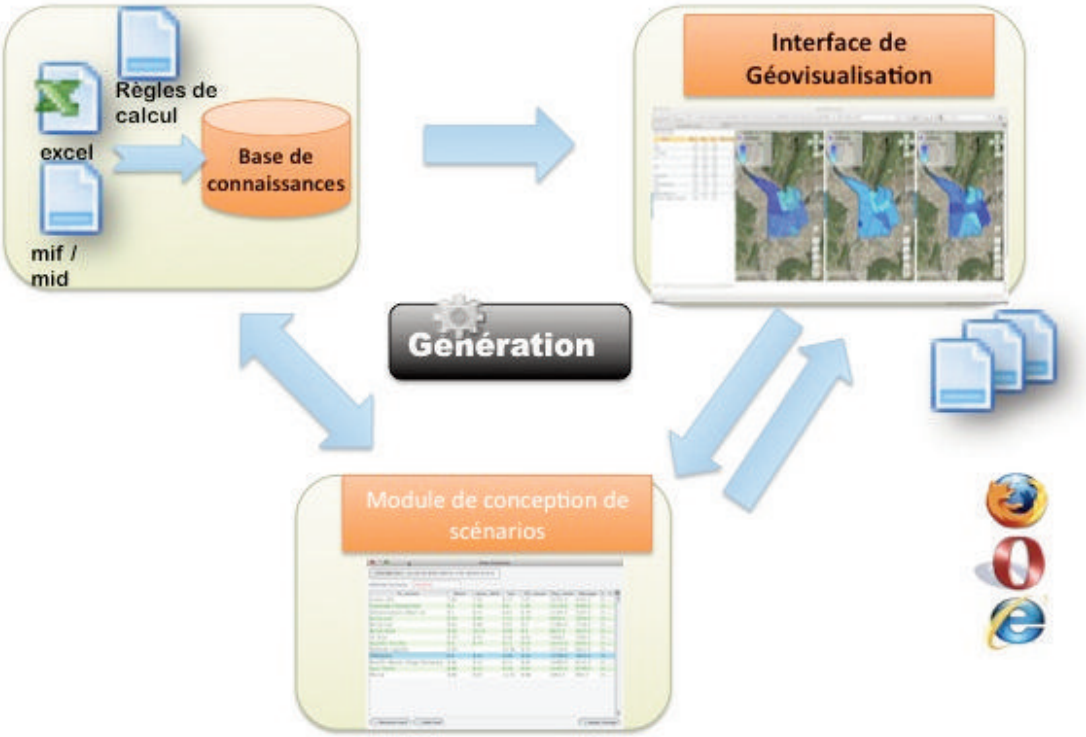

Figure 3 : Architecture de MOVISS_SIST

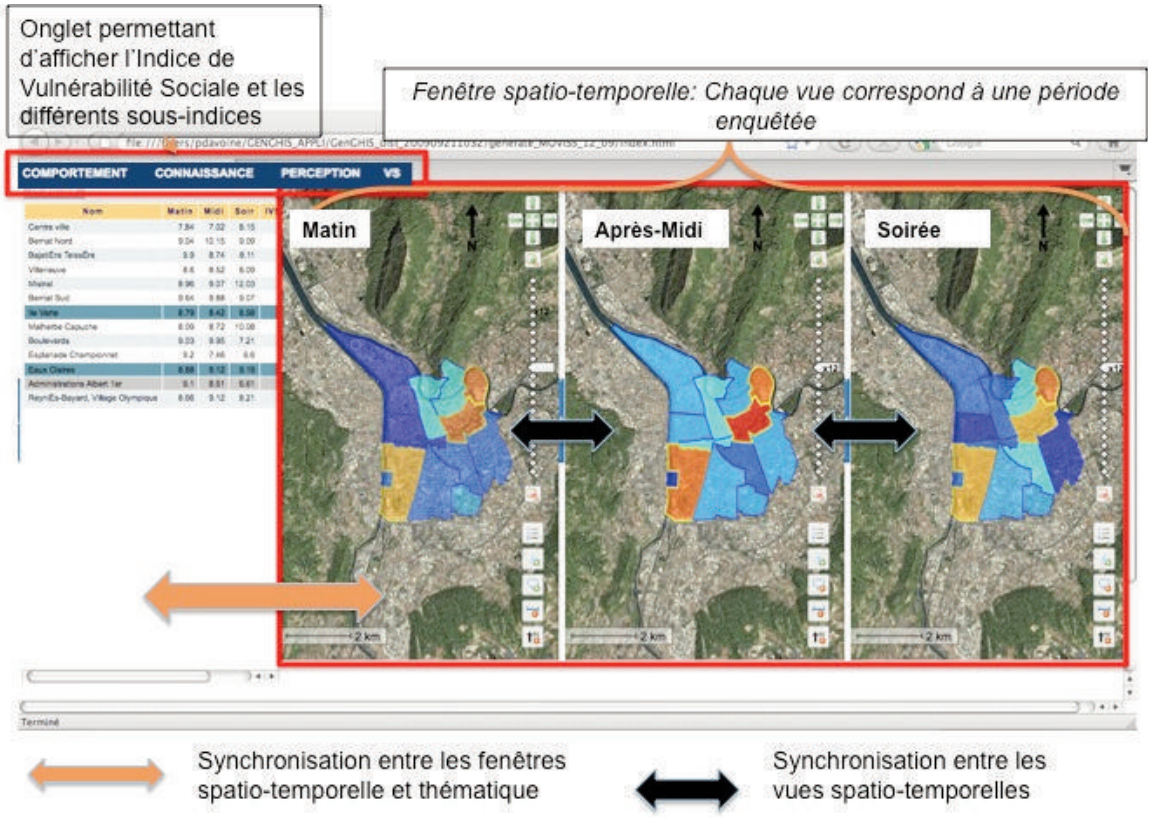

Figure 4 : Interface de géovisualisation de MOVISS_SIST

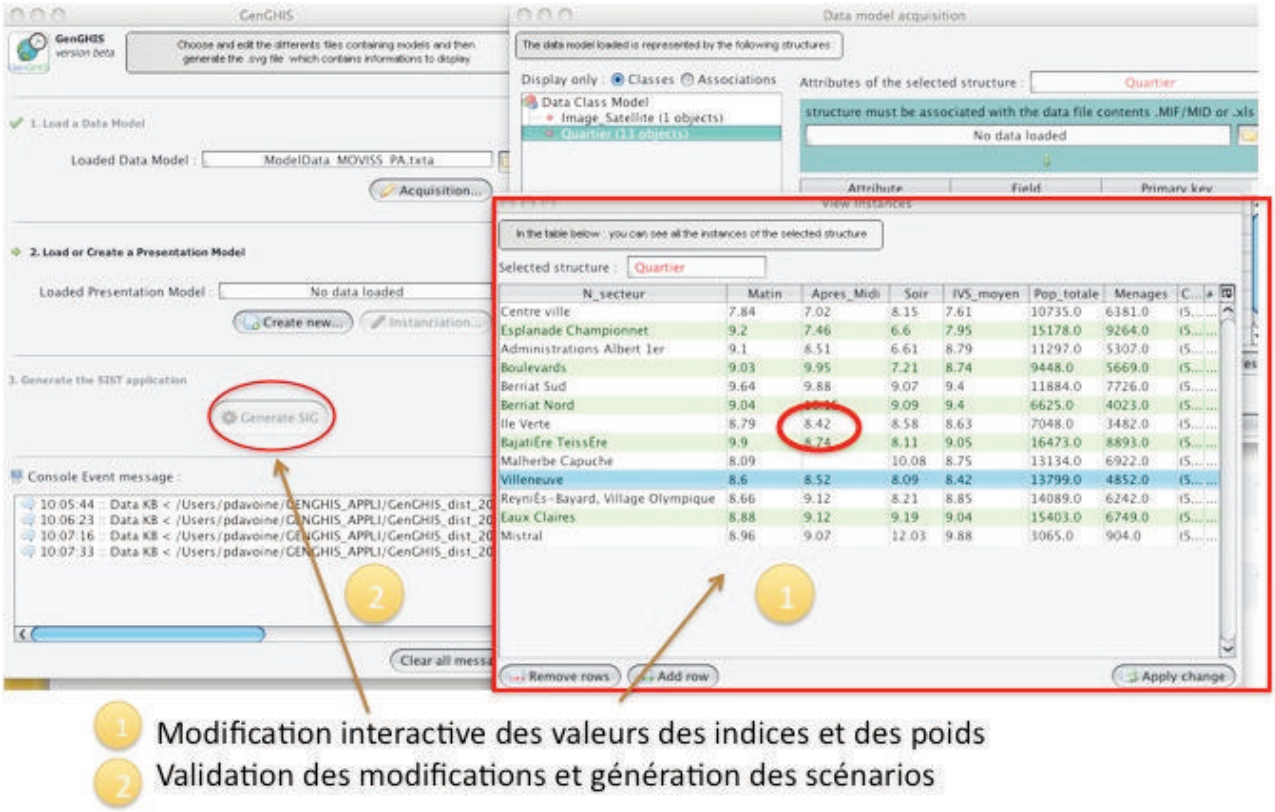

Figure 5 : Module de construction de scenarios

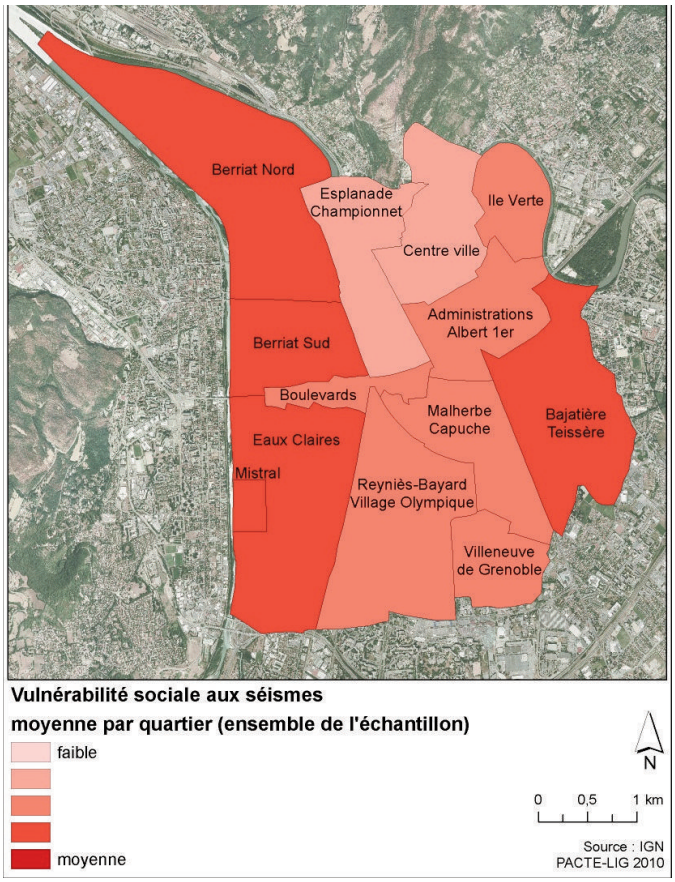

Figure 6 : Répartition spatiale de la vulnérabilité sociale aux séismes à Grenoble (Beck, 2012)

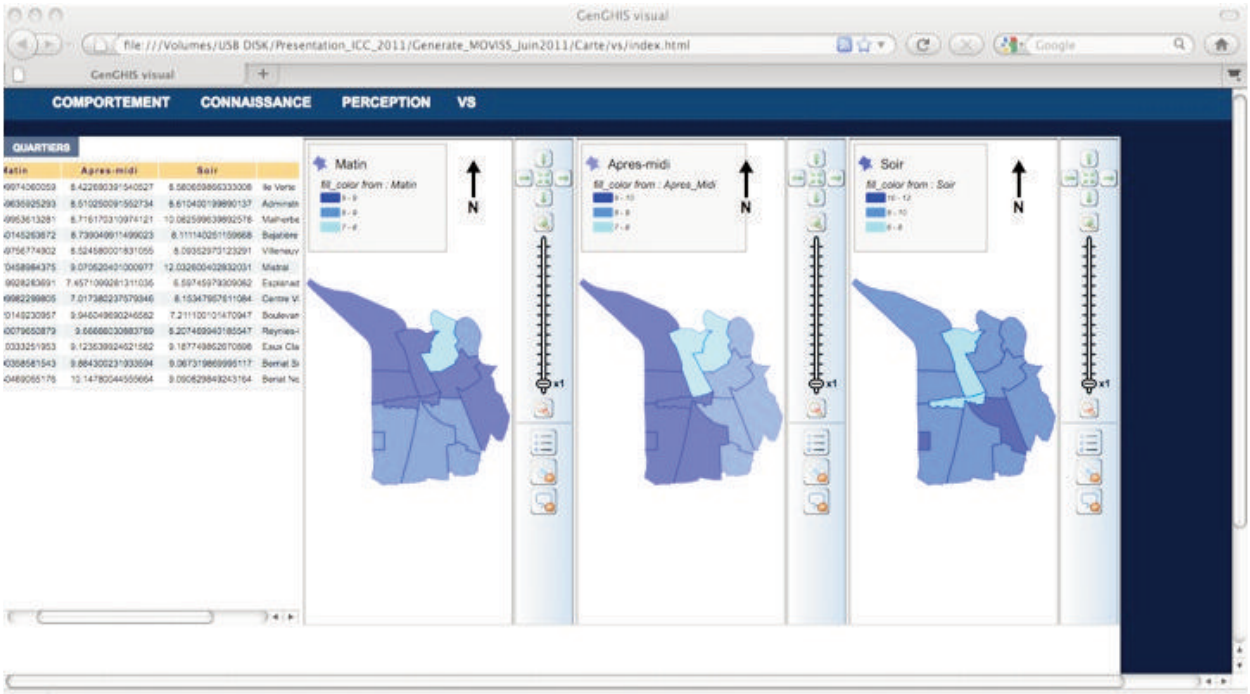

Figure 7 : Variation spatio-temporelle de la vulnérabilité sociale aux séismes à Grenoble

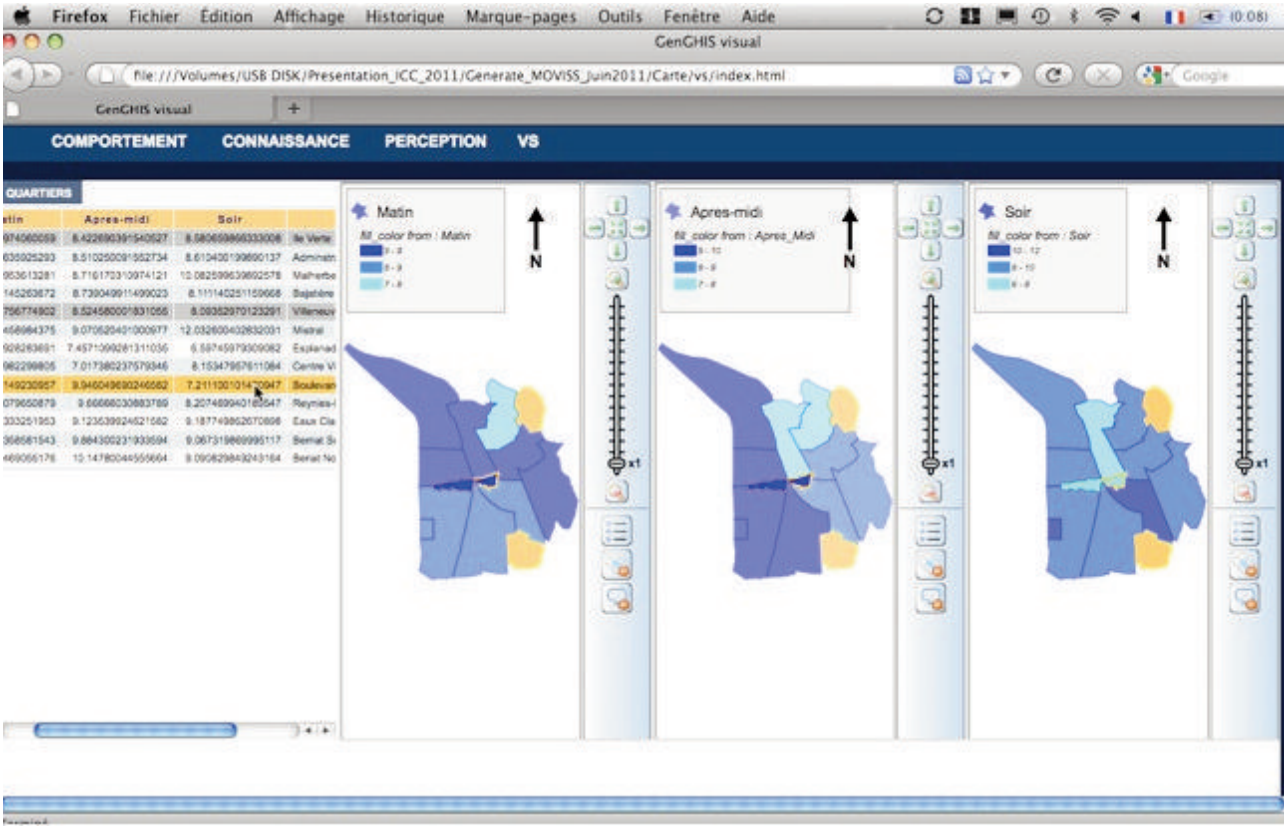

Figure 8 : Analyse spatio-temporelle de la vulnérabilité sociale aux séismes à Grenoble

	Centre ville	Esplanade Championnet	Adminis-tration Albert 1er	Berriat Sud	Ile-Verte	Boulevards	Berriat Nord	Bajatière Teissère	Malherbe Capuche	Villeneuve	Reyniès Bayard, Village olympique	Eaux claires	Mistral
Effectifs	77	77	77	77	77	77	82	77	77	78	74	77	76
classe d'âge													
15-24ans	20	19	18	17	14	16	18	15	21	21	20	23	24
25-34ans	13	16	13	16	10	12	19	14	12	12	10	12	14
35-44ans	11	10	15	16	17	16	24	13	12	15	17	14	20
45-54ans	15	14	15	12	18	17	14	10	11	16	13	12	12
55-64ans	9	8	8	7	10	5	3	11	8	8	5	8	3
65 et +	9	10	8	9	8	11	4	14	13	6	9	8	3
nombre de résidents													
entre 8h et12h	3	7	5	8	8	7	4	11	7	12	8	8	12
entre 12h et 14h	2	5	4	6	7	8	3	8	7	12	6	6	12
entre 14h et 18h	3	6	4	7	11	8	4	11	7	14	8	9	11
après 18h	4	8	6	10	10	11	8	13	9	17	12	11	16
total	12	26	19	31	36	34	19	43	30	55	34	34	51
nombre de pratiquants													
entre 8h et12h	12	12	13	10	10	11	16	7	11	3	10	9	3
entre 12h et 14h	11	8	11	7	7	7	14	6	10	4	10	8	4
entre 14h et 18h	26	18	22	16	6	13	22	13	17	9	14	16	12
après 18h	16	13	12	13	18	12	11	8	9	7	6	10	6
total	65	51	58	46	41	43	63	34	47	23	40	43	25

Tableau 1 : Échantillon spatio-temporel pour l'étude des variations de la vulnérabilité socio spatiale de Grenoble

Perception des risques

1- Parmi les risques naturels auxquels les Grenoblois se sentent exposés, le tremblement de terre arrive en troisième position après les inondations et les tempêtes.

2- Les Grenoblois se sentent moyennement exposés aux risques sismiques.

Connaissance et comportement

3- Plus de la moitié des Grenoblois ont une connaissance adaptée des consignes à suivre pendant et après une secousse.

4- Au sein de la population grenobloise, les jeunes (moins de 24 ans) ont une connaissance plus fine du risque sismique et des consignes à adopter ; en revanche, ils se sentent moins exposés que leurs aînés.

5- Le niveau de connaissance sur les séismes et sur les comportements est directement corrélé au niveau de diplôme.

6- Les Grenoblois en situation d'inactivité (retraités, personnes au foyer, chômeurs) ont une connaissance très incomplète des consignes de sécurité.

7- Contrairement aux préconisations établies, la majorité des adultes qui ont la charge d'enfants déclare vouloir les rejoindre à l'école ou prendre de leurs nouvelles en cas de séisme.

Information sur les risques

8- Peu de personnes déclarent avoir reçu une information sur le phénomène sismique à Grenoble.

9- En revanche, elles sont plus nombreuses à déclarer avoir reçu de l'information sur les consignes à suivre.

10- Le fait d'avoir reçu une information (phénomène ou consignes) semble améliorer le niveau de connaissance des Grenoblois.

11- Les catégories socio-professionnelles supérieures sont celles qui présentent les indices de vulnérabilité sociale (IVS) les plus faibles.

12- Le niveau de diplôme constitue l'un des déterminants de la vulnérabilité sociale aux séismes.

Tableau 2 : Principales conclusions de l'enquête concernant la vulnérabilité sociale des Grenoblois enquêtés