

# Une approche spatio-multidimensionnelle pour l'analyse des aléas environnementaux

Sandro Bimonte\*, Omar Boucelma\*\*  
Olivier Machabert\*\* Sana Sellami\*\*

\*TSCF, Irstea 24 Av. Des Landais, F-63000 Aubière  
sandro.bimonte@irstea.fr,

\*\* Aix Marseille Université, CNRS, LSIS, UMR 7296, Marseille, 13397, France  
(olivier.machabert, omar.boucelma, sana.sellami)@lsis.org

**Résumé.** Les entrepôts de données spatiales et les systèmes SOLAP permettent l'analyse en ligne de gros volumes de données géo référencées. Dans un contexte de gestion des risques naturels, ces systèmes ont été utilisés avec succès sur des données officielles dont la collecte suit un processus bien établi. Le développement récent d'outils collaboratifs pour la saisie de données géographiques, y compris par des utilisateurs non-experts a engendré un nouveau concept : celui de l'Information Géographique Volontaires (VGI), et a créé un besoin et une opportunité pour prendre en compte ces données dans un processus décisionnel. Dans cet article, nous décrivons un modèle et un système spatio-multidimensionnel permettant l'utilisation conjointe des données VGI avec des systèmes SOLAP pour l'analyse des aléas environnementaux.

## 1 Introduction

Les nouvelles technologies d'acquisition de données spatiales, de cartographie sur le Web et les outils Wiki ont permis la création de systèmes web collaboratifs pour les données spatiales qui permettent aussi bien aux experts qu'aux amateurs de créer et de partager des informations géo-référencées. Cela a conduit au concept de VGI (Information Géographique Volontaire), défini par (Goodchild, 2007) comme « la mobilisation d'outils pour créer, assembler et diffuser des données géographiques fournies volontairement par des individus ». Les systèmes VGI ont déjà été utilisés dans différents domaines d'application tels que l'urbanisme, la santé et les risques environnementaux produisant de bons résultats notamment pour les données temps réel. De nombreux acteurs nationaux et internationaux (Google, ESRI par exemple), industriels et académiques s'intéressent actuellement au VGI. Néanmoins, ces systèmes permettent des analyses et une visualisation des données simples (Roche et al., 2011).

Des outils décisionnels de type Spatial OLAP (SOLAP) (Malinowski et Zimanyi, 2008) ont, eux aussi, été appliqués dans le domaine des risques environnementaux, pour l'exploration et la synthèse de gros volumes de données géo-référencées provenant de sources multiples. Ces outils (Oracle BI, Microsoft AS, etc.) reposent sur des données « fermées », bien intégrées et structurées (Bédard et Han, 2001).

Ce travail se place dans le cadre général des systèmes de gestion des risques et notamment des aléas environnementaux. Il vise l'analyse des aléas naturels renseignés par les volontaires à l'aide de systèmes SOLAP. Si le SOLAP présente des limitations liées à la fraîcheur des données et à la flexibilité (faible) de ses structures de données, le VGI permet l'accès à des données en temps réel, mais de qualité variable.

L'objectif du travail décrit dans cet article est double : (1) proposer un modèle spatio-multidimensionnel générique pour l'évaluation des aléas environnementaux issues des systèmes VGI, et (2) implanter ce modèle dans un système ROLAP qui intègre les systèmes VGI. Un point significatif de cette approche est l'adoption d'un modèle de données générique basé sur le paradigme question/réponse adapté à des profils utilisateurs VGI. De plus, la qualité des données VGI est caractérisée par la crédibilité des volontaires qui peut affecter qualité des indicateurs produits (Flanagin et M.Metzger, 2008). Pour cela nous proposons un modèle spatio-multidimensionnel qui prend en compte la crédibilité des utilisateurs dans les analyses SOLAP. L'approche a été validée par la réalisation d'un système décisionnel pour l'analyse spatio-multidimensionnelle de données VGI. Des expérimentations ont été réalisées sur des jeux de données synthétiques créées à partir de vraies données sur des aléas environnementaux.

Cet article est organisé comme suit : dans la section 2, nous introduisons le concept VGI et présentons une étude des travaux existants sur la gestion des risques et aléas environnementaux. Nous décrivons dans la section 3 notre modèle spatio-multidimensionnel pour l'analyse des aléas. La section 4 présente les expérimentations réalisées et les résultats obtenus.

## 2 Etat de l'art

### 2.1 VGI données géographiques produites par des volontaires

L'information géographique volontaire (VGI) est un terme utilisé pour définir la participation des citoyens (non-experts) à la création de l'information géographique (Goodchild, 2007). Les citoyens, agissant comme des capteurs, peuvent reporter des problèmes et éventuellement, proposer des recommandations (Haklay, 2010), (Quinlan, 2013) à l'aide d'outils VGI comme OpenStreetMap<sup>1</sup> ou Geo-Wiki<sup>2</sup>. Les systèmes VGI reposent donc sur la connaissance utilisateur pour aider les décideurs durant la phase de réponse dans un contexte de gestion de crise. Les fonctionnalités principales de ces systèmes (Gouveia et Fonseca, 2008) sont : la collecte et le traitement de données hétérogènes spatiales et multimédia, la recherche de données et la visualisation par le biais de différentes applications (mobile par exemple). Une ressource VGI peut être une photo géo-taguée, une collection de photos telles que Flickr ou encore un système de validation des données comme Geo-Wiki (S. et al., 2011).

Les données VGI sont fournies en temps réel, ce qui représente un facteur clé pour prouver leur efficacité dans la gestion de la réponse aux risques environnementaux (Liu et Palen, 2010). Nous citerons par exemple l'utilisation de OpenStreetMap lors de l'ouragan Sandy de Haiti. Ou encore GeoEye<sup>3</sup> qui a permis une utilisation des images, de haute résolution plusieurs jours après le séisme en Haiti. En peu de temps, toute une communauté d'utilisateurs a réalisé des

---

1. <http://www.openstreetmap.org>

2. <http://www.geowiki.fr>

3. <http://geofuse.geoeye.com>

cartes détaillées. Cet événement est devenu une sorte de symbole de la production des données collaboratives (crowdsourcées) (Zook et al., 2010). Le VGI soulève plusieurs problématiques liées à la qualité des données fournies par les utilisateurs, comme par exemple la précision, la complétude, etc. (Arago et al., 2012). En particulier, puisque dans les systèmes VGI tout type d'utilisateur peut « créer » des données, alors la crédibilité devient une composante fondamentale de la qualité. Plusieurs travaux s'intéressent à la crédibilité en proposant de modèles pour le calcul de la crédibilité des données (Chen, 2012) et pour la résolution de possibles conflits (Brando et Bucher, 2010). Cependant, ces travaux sont encore à un stade préliminaire et s'intéressent à un domaine bien particulier.

## 2.2 Aléas environnementaux

Le risque<sup>4</sup> est la mise en relation d'un aléa (phénomène naturel dangereux) et d'une zone géographique où existent des enjeux qui peuvent être humains, économiques ou environnementaux. Nous passons en revue dans cette section les outils d'évaluation VGI et SOLAP des aléas environnementaux et concluons par une discussion.

Plusieurs outils et méthodologies «SIG<sup>5</sup>» ont été proposés pour l'évaluation des aléas et la gestion des risques naturels (Manfré et al., 2012) (Peggion et al., 2008). Par exemple, les travaux proposés par (Kenneth et al., 2004) décrivent l'application des SIG dans le cadre de l'évaluation des risques dus à la pollution de l'air, ou encore les travaux de (Alexander et al., 2011) proposent un outil SIG d'évaluation des risques d'inondation.

Dans un contexte VGI, les systèmes d'évaluation des aléas environnementaux (Roche et al., 2011), doivent être collaboratifs permettant ainsi la collecte des données citoyens et la création de cartes et de contenu. Des systèmes VGI ont été déployés. Google Crisis Response<sup>6</sup> est une initiative utilisant le concept VGI pour communiquer à la population l'état des risques par le biais de cartes thématiques. (Schnebele et Cervone, 2013) ont proposé une méthodologie qui exploite les données VGI issues de Google News, les vidéos et les photos de la télédétection et les données DEM (Digital Elevation Model) pour améliorer l'estimation des risques d'inondation.

Cependant, les données VGI manquent de précision. Afin de remédier aux problèmes d'imprécision, (Arcaini et al., 2013) ont proposé le framework SISTEMATI pour l'indexation et l'interrogation des contenus des rapports VGI ainsi qu'une méthode d'évaluation de la qualité de ces rapports (qui comprennent des informations diverses comme la latitude et la longitude de l'endroit où le risque a été observé, la date, le titre, la description, la catégorie de l'utilisateur, la classification du risque, etc.). L'évaluation de la qualité repose sur deux techniques : une technique ex-ante qui vise à se prémunir de la création d'un VGI de qualité médiocre et une technique ex-post qui supprime les données de mauvaise qualité. (Rak, 2013) a proposé des méthodes pour l'évaluation de la qualité du VGI et son intégration dans l'infrastructure CGDI (Canadian Geospatial Data Infrastructure). Un éditeur VGI en ligne a été développé pour évaluer la qualité des données VGI. Cet éditeur est capable de valider ces données pour qu'elles soient conformes à la précision géographique du CGDI. Seuls les besoins en précision et incertitude géographique ainsi que la structure des données ont été satisfaits par le VGI.

4. <http://www.e-sige.ensmp.fr>

5. Systèmes d'Information Géographique

6. <https://www.google.org/crisisresponse/>

En conclusion, tous ces travaux fournissent des analyses sur des données imprécises car les volontaires ne disposent pas de moyens de mesures précises et, surtout, ils n'ont pas l'expertise suffisante pour une évaluation détaillée des aléas naturels.

Les systèmes SOLAP ont longtemps été utilisés pour l'analyse des risques. Par exemple, (Iris et al., 2006) ont défini un modèle spatio-multidimensionnel pour évaluer les risques naturels de type crue. L'entrepôt de données spatiales contient deux mesures numériques : le nombre de bâtiments et le nombre de résidents. Les données sont analysées selon les dimensions spatiale et temporelle et aussi selon une dimension thématique représentant l'intensité de la crue. (Alexandru et al., 2010) ont étudié l'analyse de risques de pollution au moyen d'un modèle multidimensionnel dans lequel la valeur de la pollution est décrite par polluant et groupe de polluant ; de même, (Vernier et al., 2013) ont proposé un système SOLAP pour l'analyse de polluants agricoles. Les alertes concernant les risques de pollution ont également fait l'objet des travaux (Radulescu et al., 2008) qui définissent des mesures de polluants et des mesures d'alertes sur les risques, en utilisant des formules complexes pour calculer une caractérisation globale du risque. (Somodevilla et al., 2012) se sont intéressés aux dégâts sismiques en fournissant un modèle spatial multi dimensionnel pour l'analyse du nombre de victimes (morts, blessés), des dégâts matériels selon la ville, l'heure et la magnitude des séismes. (Penkova et al., 2012) proposent un schéma en constellation pour un système OLAP de traitement des urgences en cas de crue. Dans ce cas, plusieurs faits concernant des données météorologiques, sur les rivières et les zones urbaines ont été définis.

En conclusion, ces travaux portent sur les différentes phases de la gestion des risques (Roche et al., 2011). Cependant, tous ces travaux considèrent un aléa spécifique en le caractérisant au moyen de mesures numériques détaillées fournies par des experts et des réseaux de capteurs, ce qui les rend moins efficaces avec les données issues de volontaires (forcément non experts).

### 2.3 Discussion

Nous allons comparer dans cette section les systèmes VGI et SOLAP selon différents critères : données, analyse et architecture (figure 1). Au niveau des données, cette comparaison montre que les systèmes SOLAP n'intègrent pas de questionnaire de données qui représentent les sources de données principales pour les systèmes VGI. Au niveau de l'analyse, les systèmes SOLAP sont plus adéquats pour la prise de décision étant donné qu'ils permettent des requêtes interactives sur des données agrégées. Ils offrent aussi de bonnes performances et un passage à l'échelle grâce à leur architecture OLAP. Par contre les systèmes SOLAP ne prennent pas en compte la crédibilité des utilisateurs et donc des données stockées et analysées.

Sur la base de l'étude réalisée, notre objectif principal est donc de proposer un modèle et un système pour l'intégration et l'analyse des aléas environnementaux dans les systèmes SOLAP basé sur le paradigme question/réponse.

## 3 Modèle spatio multidimensionnel

Nous présentons dans cette section un cas d'utilisation où les volontaires renseignent des risques environnementaux sur des systèmes VGI tels que Wikimapia<sup>7</sup>. Nous supposons donc

---

7. <http://wikimapia.org>

		SOLAP	VGI
Données	Echantillons	√	
	Mesures	√	
	Questionnaires		√
Qualité	Crédibilité		√
Analyse	Requêtes de sélection	√	√
	Requêtes d'agrégation	√	
	Interactivité	√	
Architecture		OLAP	Idem que GIS

FIG. 1 – Comparaison VGI et SOLAP pour l'évaluation des aléas environnementaux

que la collecte de données est basée sur le paradigme question/réponse car les utilisateurs sont souvent non experts du domaine et ne peuvent de ce fait pas fournir des mesures sophistiquées et des échantillons. Un risque environnemental peut donc être décrit par une localisation, une date et une question/réponse du type « quelle est la hauteur de l'eau ?/Supérieure à un mètre ».

Notre modèle est décrit avec le profil UML pour les entrepôts de données spatiales décrit par (Boulil et al., 2012) et comprend deux parties : la première décrit les structures multidimensionnelles SDW (SDW metamodel) et la seconde représente l'agrégation des mesures par rapport à l'analyse des besoins des décideurs (Aggregation metamodel). Le méta-modèle SDW représente de manière conceptuelle des aspects classiques et avancés du modèle spatio-multidimensionnel tels que les hiérarchies multiples et complexes, les relations many-to-many entre les faits et les dimensions, etc.. Le profil définit un stéréotype où une valeur est taguée pour chaque élément spatio-multidimensionnel. Les niveaux de dimension spatiale « SpatialAggLevel » sont représentés avec des attributs géométriques stéréotypés « LevelGeometry », et le stéréotype « AggRelationship » est utilisé pour modéliser les relations d'agrégation qui relient les niveaux de dimension .

Notre modèle VGI spatio-multidimensionnel pour l'évaluation des aléas environnementaux présente quatre dimensions : temporelle (Time), spatiale (Location), événement (Event) et utilisateur (Users).

- La dimension *temporelle* a été créée en sélectionnant toutes les valeurs temporelles valides des alertes VGI. Nous avons créé une hiérarchie telle que le premier niveau correspond à l'année et le plus bas niveau correspond à l'heure. Les granularités de la hiérarchie doivent être définies selon la pertinence du type d'aléa ;
- La dimension *spatiale* a été définie en sélectionnant les localisations de tous les risques. Nous avons défini une hiérarchie avec comme niveau le plus élevé la région et comme niveau le plus bas les coordonnées géométriques (geometry point). Les niveaux spatiaux sont déterminés selon le type d'aléa. Grâce à cette dimension, il est possible de filtrer les données ;
- La dimension *utilisateur* représente les volontaires et les regroupe selon leur expertise. Nous avons identifié quatre classes d'utilisateurs : les experts, les officiels, les volontaires et les experts volontaires. Cette dimension nous permet de gérer la problématique liée à la crédibilité car chaque fait est lié à un utilisateur et à un groupe d'utilisateurs avec une expertise différente ;

## Une approche spatio-multidimensionnelle pour l'analyse des aléas environnementaux

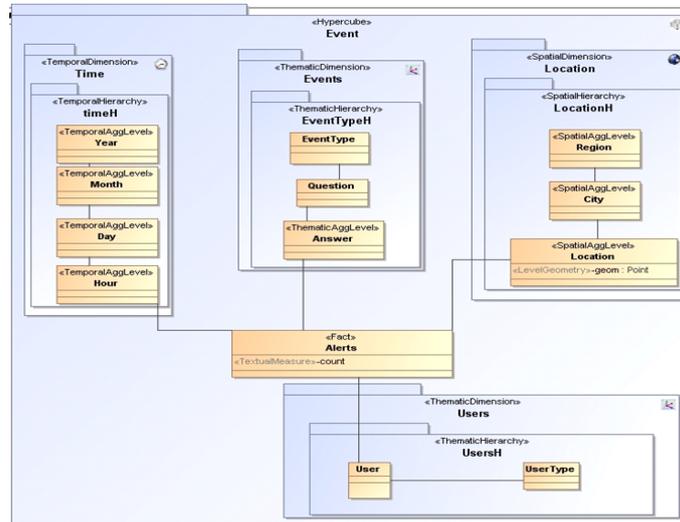


FIG. 2 – Modèle VGI spatio-multidimensionnel pour l'évaluation des aléas environnementaux

- La dimension *événement* catégorise les événements (i.e. aléas) par types et chaque événement (e.g. inondation) est associé au niveau plus détaillé représentant la question (e.g. niveau de l'eau), et le niveau le plus détaillé est la réponse (e.g. > 1 mètre).

Les faits (Alerts) représentent un événement (aléa) associé à tous les tuples des différentes réponses fournies par le volontaire. Par exemple, l'information sur l'événement inondation avec 5 réponses (une par question) crée 5 faits. Chacun de ces faits contient une mesure. Les mesures sont le nombre de réponses par risque (« count »). Cette mesure est agrégée en comptant le nombre de réponses sur la donnée mesurée en agrégeant (combinant) les dimensions. Par exemple, « Quel est le nombre total de réponses pour la réponse "entre 0.5 et 1 mètre" à la question "hauteur de l'eau" par ville et par mois ? ». Une autre mesure est le nombre d'entrées sans considérer les réponses. Cette mesure peut être utilisée pour identifier les risques naturels environnementaux et les zones géographiques où les volontaires contribuent le moins et assignent donc plus d'experts à cette zone.

## 4 Implémentation

Nous présentons dans cette section l'implémentation de notre modèle spatio multidimensionnel.

### 4.1 Architecture VGOLAP

Nous avons défini l'architecture *VGOLAP* qui intègre les systèmes VGI et SOLAP. Les méthodes ETL ont été implémentées en java et en utilisant des scripts PL/pgSQL pour charger les données à partir des sources de données VGI dans l'entrepôt de données spatiales. Le



FIG. 3 – Composante VGI

serveur SOLAP est basé sur GeoMondrian<sup>8</sup>, qui est un serveur multi-fonctions définissant les concepts spatio-multidimensionnels et un mapping du fichier XML avec un schéma relationnel. Les mesures et agrégations décrites dans la section 3 sont définies avec le langage MDX (MultiDimensional eXpressions Language), un standard de requêtes et un langage de calcul pour les systèmes OLAP. Les affichages tabulaires et cartographiques des requêtes SOLAP sont fournis par le système SOLAP Map4Decision<sup>9</sup>. Nous supposons que les données VGI peuvent être fournies par un outil geowiki tel que Wikimapia et/ou utilisant un système ad-hoc de crowdsourcing (Figure 3).

Dans l'architecture que nous proposons, l'intégration des données VGI ne se fait pas seulement au sein de l'entrepôt de données, mais le système VGI joue un double rôle. Il représente les sources de données pour le système SOLAP pour les analyses historiques et multidimensionnelles des aléas, et il permet les analyses en temps réel qui caractérisent la donnée VGI.

L'entrepôt des données spatiales est composé d'une base de données relationnelle réalisée avec PostGIS<sup>10</sup>.

## 4.2 VGOLAP : mode d'emploi

Nous allons décrire comment les décideurs déclenchent des requêtes SOLAP et visualisent leurs résultats sur un client SOLAP Map4Decision couplé à GeoMondrian. L'interface utilisateur du client SOLAP est constituée de deux composants : un pour l'exploration et la sélection des mesures et membres et un autre pour la visualisation des requêtes SOLAP.

Avec le client SOLAP, il est possible de définir des requêtes agrégées du type « Quel est le nombre de réponses par année ? ». Il est aussi possible de déclencher un opérateur drill-down pour avoir plus de détails sur chaque dimension au moyen de la table de pivot, par exemple pour calculer le nombre de réponses par mois, à partir de la requête précédente.

Les décideurs peuvent changer l'échelle spatiale en appliquant directement l'opérateur drill-down ou en cliquant sur la ville d'intérêt. La visualisation des requêtes SOLAP question/réponse est illustrée à la figure 4.

Ces résultats visuels nous permettent de mieux comprendre la tendance temporelle d'un événement naturel : « Quel est l'impact agrégé sur les rivières d'une ville ? ». Les tendances temporelles, spatiales et thématiques peuvent être déterminées pour chaque question/ réponse.

8. <http://www.spatialytics.org/fr/projets/geomondrian/>

9. <http://www.intelli3.com/map4decision>

10. <http://postgis.net/>

Une approche spatio-multidimensionnelle pour l'analyse des aléas environnementaux

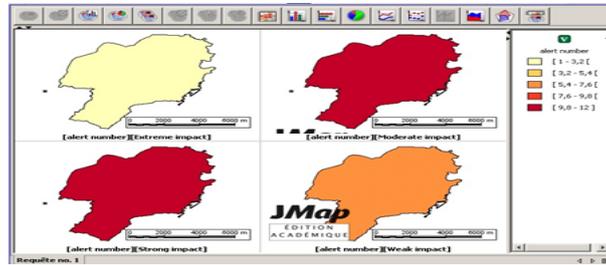


FIG. 4 – Client

## 5 Conclusion et perspectives

Nous avons décrit dans cet article un modèle spatio-multidimensionnel pour l'évaluation des aléas environnementaux. Nous avons intégré des données VGI dans un entrepôt de données spatial SOLAP dans le but de faire de l'analyse en ligne de données portant sur des aléas naturels. Pour montrer la faisabilité de notre approche, nous avons implémenté un système décisionnel et réalisé des expérimentations sur des jeux de données synthétiques créées à partir de vraies données sur les aléas environnementaux. Notre analyse a démontré l'avantage d'intégrer des données VGI dans un système SOLAP. Cependant, une limite principale a été identifiée : la crédibilité des données VGI. En effet, les données VGI sont caractérisées par des critères de qualité classiques des données spatiales (complétude, cohérence logique (et précision) (Devilleers et Jeansoulin, 2006) mais aussi par la crédibilité (Flanagin et M. Metzger, 2008). L'évaluation des critères utilisateur (experts ou citoyens) est importante pour l'évaluation de la fiabilité totale de leur contribution. Bien que la qualité des données affecte l'analyse SOLAP, de nouvelles méthodes doivent être définies pour résoudre ces problèmes. Nous prévoyons également de tester notre démarche sur des jeux de données réelles<sup>11</sup> pour valider le modèle.

## 6 Remerciements

Ce travail a été financé par ICSTAR.

## Références

- Alexander, M., C. Viavattene, H. Faulkner, et S. Priest (2011). A gis-based flood risk management tool: supporting flood incident management at the local scale). Frmr report swp3.2, London: FHRC.
- Alexandru, A., G. Gorghiu, C. L. Nicolescu, et C.-A. Alexandru (2010). Using olap systems to manage environmental risks in dambovit county. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary* 67, 394.

11. <http://www.onrn.fr/>

- Arago, P., L. Diaz, et J. Huerta (2012). A quality approach to volunteer geographic information. *7th International Symposium on Spatial Data Quality*.
- Arcaini, P., G. Bordogna, et S. Sterlacchini (2013). Flexible querying of volunteered geographic information for risk management. *Proceedings of the 8th conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology, EUSFLAT-13*.
- Bédard, Y. et J. Han (2001). Geographic data mining and knowledge discovery. *Taylor & Francis, Vol. Research Monographs in GIS*, 53–73.
- Boulil, K., S. Bimonte, et F. Pinet (2012). A uml & spatial ocl based approach for handling quality issues in solap systems. *Proc. 14th International Conference on Enterprise Information Systems*, 99–104.
- Brando, C. et B. Bucher (2010). Quality in user generated spatial content: A matter of specifications. *Proceedings of the 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science*, 11–14.
- Chen, C. (2012). *Credibility Analysis of Volunteered Geographic Information*. Thèse de doctorat, Central Michigan University.
- Devillers, R. et R. Jeansoulin (2006). *Fundamentals of Spatial Data Quality*. London: ISTE.
- Flanagin, A. et M. Metzger (2008). The credibility of volunteered geographic information. *GeoJournal* 72, 137–148.
- Goodchild, M. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal* 69, 211–221.
- Gouveia, C. et A. Fonseca (2008). New approaches to environmental monitoring: the use of ict to explore volunteered geographic information. *GeoJournal* 72, 185–197.
- Haklay, M. (2010). How good is volunteered geographical information: A comparative study of openstreetmap and ordnance survey datasets. *Environment and Planning B: Planning and Design* 37, 682–703.
- Iris, J., A. Napoli, et F. Guarnieri (2006). Contribution of a spatial multidimensional portal for natural hazards data exploration. *Conference on Informatics for Environmental Protection 1*.
- Kenneth, L. M., R. L. Smith, et D. Murphy (2004). *Chapter 32 Use of Geographic Information Systems (GIS) in Risk Assessment*. Risk Assessment and Modeling - Air Toxics Risk Assessment Reference Library.
- Kimball, R. (1996). *The Data Warehouse Toolkit: Practical Techniques for Building Dimensional Data Warehouses*. New York: John Wiley & Sons.
- Liu, S. B. et L. Palen (2010). The new cartographers: Crisis map mashups and the emergence of neogeographic practice. *Cartography and Geographic Information Science (CaGIS) Journal, Special Issue: New Directions in Hazards and Disaster Research* 37, 69–90.
- Malinowski, E. et E. Zimanyi (2008). *Advanced Data Warehouse Design: From Conventional to Spatial and Temporal Applications*. Springer.
- Manfré, L., E. Hirata, S. J. B., J. E. Shinohara, A. M. Giannotti, C. A.-P. Larocca, et J.-A. Quintanilha (2012). An analysis of geospatial technologies for risk and natural disaster management. *ISPRS Int. J. Geo-Information* 1, 166–185.

- Peggion, M., A. Bernardini, et M. Masera (2008). Geographic information systems and risk assessment. *JRC Scientific and Technical Reports*, 345–359.
- Penkova, T., A. Korobko, et V. Nicheporchuk (2012). Emergency situations monitoring using olap technology. *MIPRO, 2012 Proc.the 35th International Convention*, 1595–1600.
- Quinlan, J. R. (2013). Twiki-planning: The experience of basento park in potenza (italy). *Geographic Information Analysis for Sustainable Development and Economic Planning: New Technologies*, 345–359.
- Radulescu, C. Z., M. Radulescu, V. Vlad, et D. M. Motelica (2008). A multidimensional data model and olap analysis for soil physical characteristics. *9-th WSEAS International Conference on Mathematics & Computers in Business and Economics (MCBE '08)*, 25–29.
- Rak, A. (2013). *Legal Issues and Validation of Volunteered Geographic Information*. Thèse de doctorat, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada.
- Roche, S., E. Zimmermann, et B. Mericskay (2011). Geoweb and crisis management: issues and perspectives of volunteered geographic information. *GeoJournal*, 1–20.
- S., F., L. Seen, I. McCallum, C. Schill, C. Perger, et M. Obersteiner (2011). Building a crowd-sourcing tool for the validation of urban extent and gridded population. *International Conference Computational Science and Its Applications - ICCSA*, 39–50.
- Schnebele, E. et G. Cervone (2013). Improving remote sensing flood assessment using volunteered geographical data. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, 669–677.
- Somodevilla, M. J., A. Nava, I. H.Pined, . B. Priego, et E. Castillo (2012). Decision support system for seismic risks. *Journal of Computer Science & Technology (JCS&T)* 12, 71.
- Vernier, F., A. Miralles, F. Pinet, N. Carluer, V. Gouy, G. Molla, et K. Petit (2013). Eis pesticides: An environmental information system to characterize agricultural activities and calculate agro-environmental indicators at embedded watershed scales. *Agricultural Systems* 22, 11–21.
- Zook, M., M. Graham, T. Shelton, et S. Gorman (2010). *Volunteered geographic Information and crowdsourcing disaster relief: A case study of the Haitian earthquake*, Volume 2. World Medical Health Policy.

## Summary

Spatial Data Warehouses and Spatial OLAP (SOLAP) systems are well-know Business Intelligence technologies that aim to support multidimensional and online analysis of huge volume of georeferenced datasets. SOLAP systems have been already used in the context of natural hazards for analyzing sensor data and experts' measurements. Recently, new data gathering tools coined as Volunteer Geographic Information systems (VGI) are being adopted especially by non-expert users. Hence, (spatial) application development is facing a new challenge which is the integration expert-oriented data with citizen-provided ones. In this paper we propose a new spatio-multidimensional model based on the question/answer risk evaluation model allowing integration of VGI data with classical SDW and SOLAP systems for the online analysis of natural hazards monitored by volunteers.