MÉTHODES DE COMPARAISON D'IMAGES BASÉES SUR LES ALÉAS POUR L'ÉVALUATION DES DOMMAGES EN CARTOGRAPHIE D'URGENCE

par Jean-François Girres

UMR GRED 220
Université Paul-Valéry Montpellier 3 - IRD
F34000 Montpellier, France
jean-francois.girres@univ-montp3.fr

L'évaluation des dommages est une tâche prioritaire de cartographie d'urgence suite à une catastrophe naturelle (par exemple un tremblement de terre, une inondation, un tsunami). La production de ces « cartes d'impacts » dans les heures suivant une catastrophe naturelle soumet les opérateurs de cartographie d'urgence à de fortes contraintes de productivité. Pour réaliser une évaluation des dommages, des comparaisons entre images acquises avant et après la catastrophe naturelle sont menées. Cependant, les outils existant implémentés dans les logiciels SIG ou de télédétection demeurent limités en termes de fonctionnalité pour la comparaison d'images, ce qui n'apporte pas un gain d'efficacité significatif pour les opérateurs de cartographie d'urgence. Afin de proposer des méthodes de comparaison d'images plus efficaces, une investigation des techniques de multiplexage spatial développées dans les domaines de l'interaction homme-machine et de la géovisualisation est tout d'abord effectuée. Nous supposons que pour faciliter la comparaison d'images avant et après une catastrophe naturelle, il est nécessaire de prendre en compte le comportement spatial spécifique de l'aléa considéré. Dans cette optique, nous proposons de développer des méthodes de comparaison d'images basées sur l'aléa, ce qui signifie que la transition entre images est guidée par les caractéristiques de diffusion spatiale de la catastrophe naturelle étudiée. Un modèle générique pour la comparaison d'images basée sur l'aléa est ainsi proposé, ainsi qu'une première implémentation d'un prototype dans un logiciel SIG.

Damage assessment is a priority task of emergency mapping after a natural disaster (e.g. earthquake, flood, tsunami). The production of these "impact maps" in the hours following a natural disaster subjects emergency mapping operators to strong productivity constraints. To perform damage assessment, comparisons between satellite images captured before and after the natural disaster are carried out. However, existing tools implemented in GIS or remote sensing software remain limited in terms of functionalities for images comparisons, which does not provide a significant efficiency gain for emergency mapping operators. In order to propose more efficient images comparison methods, an investigation of spatial multiplexing techniques developed in the fields of human-computer interaction and geovizualisation is first carried out. We assume that to facilitate the comparison of images before and after a natural disaster, it is necessary to take into account the specific spatial behavior of the considered hazard. In this purpose, we propose to develop hazard-based images comparison methods, which signifies that the transition between images is guided by the spatial diffusion characteristics of the studied natural disaster. A generic model for hazard-based images comparison is therefore proposed, as well as a first implementation of a prototype in a GIS software.

Introduction

Durant les premières heures qui suivent une catastrophe naturelle (comme par exemple les inondations, les tremblements de terre, les ouragans ou les tsunamis), une phase de cartographie d'urgence est déclenchée. Le principal objectif de la cartographie d'urgence est d'évaluer les impacts de la catastrophe naturelle afin de faciliter l'intervention des premiers secours sur le terrain. La cartographie d'urgence est donc soumise à de fortes contraintes temporelles, puisqu'il est nécessaire de fournir une première carte quelques heures après une catastrophe. Elle est également soumise à des contraintes spatiales, étant donné que certaines catastrophes naturelles peuvent avoir des conséquences sur de très vastes emprises (comme les tsunamis ou les ouragans par exemple). Par conséquent, les opérateurs de cartographie d'urgence sont sujets à une forte pression du temps, et doivent travailler avec une efficacité particulière. Dans ce contexte, il semble stratégique de proposer des méthodes de géovisualisation permettant

d'améliorer la réalisation de tâches spécifiques à la cartographie d'urgence.

D'un point de vue technique, les opérateurs de cartographie d'urgence impliqués dans les tâches d'évaluation des dommages doivent effectuer des comparaisons entre des images acquises avant et après la catastrophe naturelle, afin d'identifier les éléments impactés (comme par exemple les bâtiments ou les routes). Pour réaliser ces comparaisons entre deux représentations, plusieurs techniques de multiplexage spatial ont été proposées dans la littérature (Lobo *et al.*, 2015). Cependant, l'analyse des outils de géovisualisation existant dans les logiciels SIG montre que les technologies disponibles sont relativement limitées en termes de fonctionnalité pour effectuer des comparaisons efficaces entre images. Par conséquent, ces outils offrent des performances modestes pour faciliter le travail des opérateurs de cartographie d'urgence.

Pour gagner en efficacité, cet article propose de développer les méthodes de comparaison d'images «basées sur les aléas». L'originalité de ces méthodes repose dans leur capacité à prendre en compte les caractéristiques de diffusion spatiale de l'aléa considéré pour en évaluer les dommages. Dans cet article, un modèle générique et une première implémentation dans un logiciel SIG des méthodes proposées sont présentés.

La section 2 de l'article présente les principes généraux de la gestion des risques naturels et de la cartographie d'urgence. La section 3 présente les techniques existantes de multiplexage cartographique permettant de comparer des images avant et après une catastrophe naturelle. La section 4 présente notre proposition et un modèle générique pour les méthodes de comparaison d'images basées sur les aléas. Enfin, une première implémentation dans un logiciel SIG des méthodes proposées est présentée dans la section 5, avant de conclure.

La cartographie d'urgence pour la gestion des catastrophes naturelles

La cartographie d'urgence fait partie d'une phase spécifique des domaines de la gestion des catastrophes naturelles et des crises. Cette section propose de formaliser ces différents concepts.

Gestion des risques et des crises

Il est largement admis dans la communauté scientifique que le *risque* naturel résulte de la rencontre entre la probabilité d'apparition d'un phénomène naturel destructeur et les dommages éventuels que ce phénomène peut causer aux personnes et aux infrastructures exposées dans une zone donnée (Jones *et al.*, 2001; UNDP, 2004).

Classiquement, le risque peut être formulé à l'aide de l'équation 1:

$$R = A * E * V \qquad (1)$$

où: A = Aléa,
E = Enjeux,
V = Vulnérabilité

L'*aléa* est un événement potentiellement destructeur, pouvant entraîner des pertes ou des dommages. L'aléa naturel couvre à la fois les phénomènes naturels potentiellement destructeurs (par exemple, les tremblements de terre ou les inondations) et l'expression probabiliste de ce potentiel (par exemple, la fréquence et l'amplitude d'une inondation à un endroit donné). Les *enjeux* (ou éléments exposés) correspondent aux populations ou aux infrastructures exposées directement ou indirectement à l'aléa. Les enjeux sont caractérisés par une *vulnérabilité*, qui reflète leur fragilité face à un aléa, mais également leur capacité à l'absorber et à se remettre des dommages (Susman *et al.*, 1983). Selon ces définitions, à proprement parler, il n'y a pas de risque sans enjeux à protéger. Ces enjeux peuvent être humains, matériels, mais aussi naturels (comme un patrimoine écologique par exemple).

D'un point de vue terminologique, la gestion des risques doit être distinguée de la gestion de crise. La gestion des risques peut être considérée comme une approche globale comprenant des outils, des méthodes et des actions qui interviennent avant, pendant et après les catastrophes (durant les phases de prévention, d'intervention, ou de reconstruction). La gestion de crise intervient quant à elle lors d'un événement catastrophique, en mettant les populations en sécurité, et après l'événement, en rétablissant des conditions dites «normales».

Afin de formaliser l'approche globale de gestion des risques naturels, le cycle de gestion des risques est utilisé (figure 1). Ce formalisme intègre les différentes phases de la gestion des risques de manière systémique et vertueuse.

Cartographie et gestion des risques

Les représentations cartographiques sont utilisées à toutes les étapes de la gestion des risques naturels. Par exemple, pendant la phase de prévention, des cartes

d'évacuation (Girres *et al.*, 2018) ou des cartes d'aléas historiques (Sahal *et al.*, 2011) sont publiées pour éduquer et sensibiliser les populations exposées à un danger potentiel. Au cours de la phase de gestion de crise, des cartes d'évaluation des dommages doivent être produites, ainsi que des cartes opérationnelles pour l'intervention des secours (Voigt *et al.*, 2005). Enfin, durant la phase post-crise, des cartes de reconstruction sont également produites. Dans cet article, nous nous concentrons sur la phase de gestion de crise, et plus particulièrement sur les tâches associées à la cartographie d'urgence pour l'évaluation des dommages.

Cartographie d'urgence et évaluation des dommages

L'évaluation des dommages est la principale tâche de cartographie d'urgence réalisée dans les heures qui suivent une catastrophe naturelle (Voigt *et al.*, 2016). Les cartes d'évaluation des dommages ont principalement pour but d'évaluer l'étendue de la catastrophe et d'identifier les infrastructures touchées (comme par exemple les routes ou les bâtiments) afin de faciliter et d'organiser l'intervention des premiers secours sur le terrain. Par exemple, la figure 2 montre une carte des routes et des bâtiments impactés suite aux inondations de juillet 2018 au Japon.

La cartographie d'urgence est classiquement réalisée par des services spécialisés, comme le SERTIT (http://sertit.u-strasbg.fr/) en France (Allenbach *et al.*, 2005), mais des exemples récents ont montré l'implication croissante des initiatives collaboratives (Roche *et al.*, 2013) basées sur l'Information Géographique Volontaire (Goodchild, 2007). L'exemple le plus emblématique est celui de la mobilisation de la communauté OpenStreetMap lors du séisme survenu à Haïti en janvier 2010 (Soden et Palen, 2014), comme le montre la figure 3.

La charte « Espace et catastrophes majeures »

La charte internationale «Espace et catastrophes majeures» est un accord entre agences spatiales visant à fournir des données et des informations obtenues de l'espace, afin de soutenir les efforts humanitaires dans les situations d'urgence provoquées par des catastrophes majeures (Bessis *et al.* 2004). Le mandat de la charte est de fournir des données satellitaires rapidement et gratuitement. Les membres de la charte peuvent également fournir des produits dérivés, tels que des cartes d'évaluation des dommages. En plus d'acquérir de nouvelles données, les membres transmettent les données d'archives aux autorités locales afin qu'elles puissent évaluer l'étendue des dommages en comparant les images capturées avant et après les catastrophes.

Mode opératoire en cartographie d'urgence

Les rencontres avec les services chargés de la réalisation des cartes d'évaluation des dommages nous ont permis de comprendre plus précisément leur mode de fonctionnement en cas d'urgence. L'évaluation des dommages est effectuée par un opérateur, expert en photo-interprétation. Les données utilisées sont des images satellites (acquises avant et après la catastrophe), ainsi que des bases de données vectorielles existantes collectées à partir de différentes sources. L'évaluation des dommages est réalisée à l'aide de logiciels SIG et de télédétection classiques. En mode opérationnel, les informations sur les enjeux impactés sont généralement extraites manuellement en comparant les images avant et après la catastrophe. Un traitement automatique utilisant des techniques de télédétection (comme par exemple la détection de changement) peut également être effectué, mais les résultats doivent être validés manuellement par un opérateur.

La répartition de la zone d'étude entre les opérateurs dépend de l'étendue de la catastrophe naturelle. Sur de grandes superficies, la zone d'étude est généralement divisée en utilisant une grille régulière. Tandis que dans une zone d'étude de petite superficie, les opérateurs partagent les classes d'objets à cartographier. En termes d'interactions, l'opérateur doit visualiser successivement chacune des deux images pour identifier les éléments impactés. Une fois la carte d'évaluation des dommages terminée, une validation est effectuée par un opérateur externe (n'ayant pas travaillé sur la carte), qui doit également comparer les résultats à l'aide d'images acquises avant et après la catastrophe.

Limites et positionnement du travail

Au cours des dernières décennies, les progrès de l'information géographique et de la géovisualisation ont profité au domaine de la gestion des catastrophes naturelles (van Oosterom *et al.*, 2005 ; Konecny *et al.*, 2010). Dans le domaine de la cartographie d'urgence, nous pouvons affirmer que la grande majorité des travaux de recherche porte sur les techniques de télédétection, et en particulier les méthodes de détection automatique des changements (Adams *et al.*, 2004 ; Boccardo, 2013). D'autres travaux portent sur l'intégration de données hétérogènes pour la cartographie d'urgence (Savapol et Armenakis, 2002)

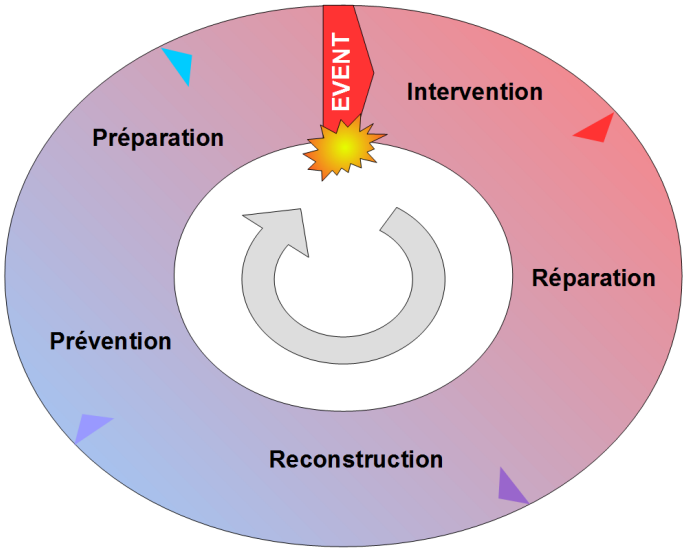

Figure 1 : Cycle de gestion des risques, adapté de FOCP (2003)

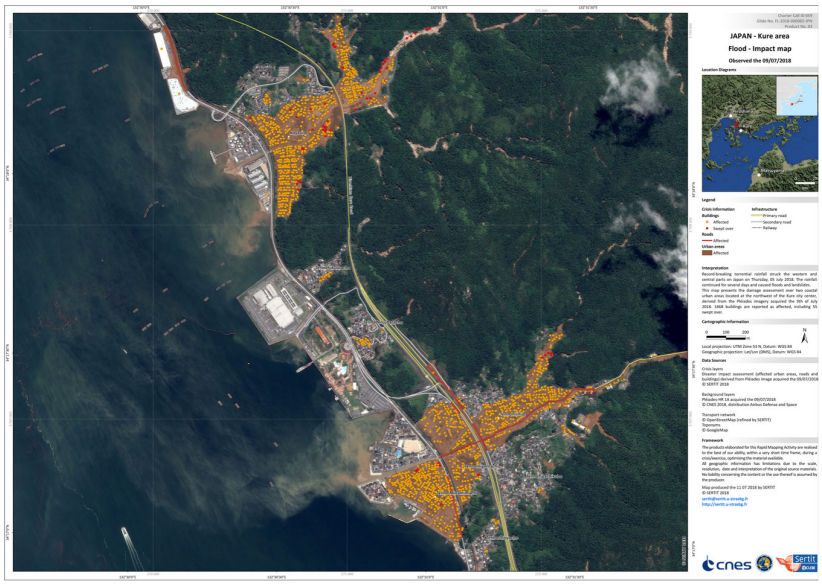

Figure 2 : Carte d'impact des bâtiments et des routes touchés dans la région de Kure (Japon) après les inondations de juillet 2018 (crédit SERTIT)

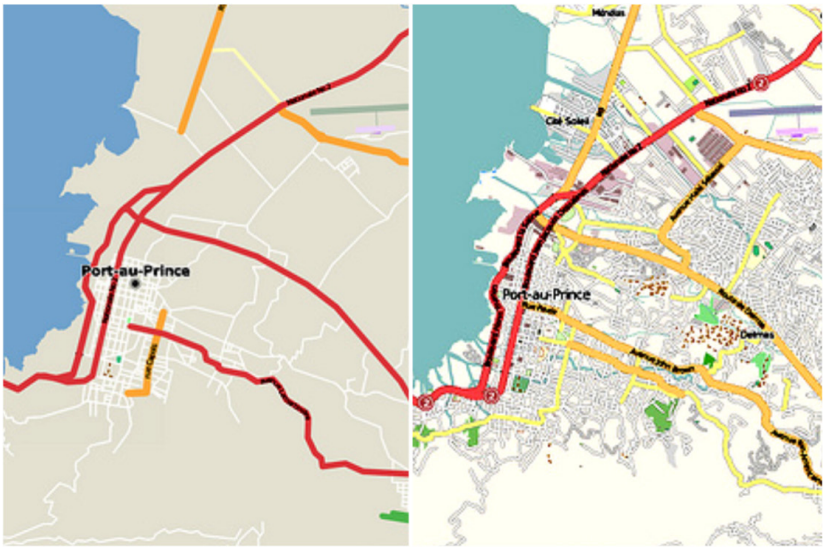

Figure 3 : Couverture OpenStreetMap à Port-au-Prince (Haïti) avant et après le séisme du 12 janvier 2010.

ou l'analyse visuelle de l'évaluation des dommages (Chesnel *et al.*, 2010). À notre connaissance, aucun travail ne traite du développement de techniques de géovisualisation pour améliorer la comparaison d'images (avant et après une catastrophe naturelle), ce qui paraît nécessaire pour cartographier l'évaluation des dommages et sa validation. Les questions liées à la comparaison entre représentations font référence au concept de multiplexage spatial, qui a été largement développé dans les domaines scientifiques de l'interaction homme-machine et de la géovisualisation. Ainsi, la section suivante présente les techniques de multiplexage spatial pour la comparaison d'images.

Techniques de multiplexage spatial pour la comparaison d'images

Le multiplexage spatial regroupe plusieurs techniques permettant de comparer des représentations. Ces techniques peuvent être mises en œuvre selon trois schémas d'interface principaux : *pan & zoom*, *focus + context* ou *overview + détail* (Cockburn *et al.*, 2009), à l'aide de différents outils de navigation.

Techniques de multiplexage spatial

Les techniques de multiplexage spatial peuvent être classées en deux catégories : les méthodes de juxtaposition et de superposition (Gleicher *et al.*, 2011). Les méthodes de juxtaposition permettent d'afficher différentes représentations dans le même environnement. En général, ces représentations sont placées les unes à côté des autres ou les unes en dessous des autres. Diverses techniques ont été proposées dans la littérature, telles que les *multiviews* (multi-vues), ou *overview + détail* (vue d'ensemble + détails). Comme exposé à la figure 4, les méthodes de juxtaposition sont classiquement implémentées dans les géoportails web.

Les méthodes de superposition permettent de superposer des représentations les unes aux autres dans la même interface. Pour passer d'une représentation à l'autre, plusieurs outils de multiplexage ont été développés, tels que le *mash-up*, le *translucent overlay* (ou « superposition translucide », utilisant la transparence), les outils de *swipe* (ou de « balayage », permettant de révéler l'image cachée à l'aide d'une ligne horizontale ou verticale, voir la figure 5), ou encore les *dragmag* (Ware et Lewis, 1995).

De plus, dans les méthodes de superposition, un grand nombre de lentilles (ou *lenses*) ont été développées pour permettre des représentations *focus + context* (Tominsky *et al.*, 2014), telles que : *smart lens* (Thiede *et al.*, 2008), *jelly lens* (Pindat *et al.*, 2012), ou *detail lens* (Karnick *et al.* 2010).

La figure 6 illustre l'exemple de la *magic lens* implémentée dans un géoportail web.

Évaluation des techniques de multiplexage

Pour évaluer l'efficacité des techniques de multiplexage spatial sur des tâches de cartographie, Lobo *et al.* (2015) ont réalisé une étude empirique basée sur des comparaisons entre une photographie aérienne et une carte topographique. Dans le test qu'ils ont mis au point, les utilisateurs devaient identifier les changements (modification, ajout ou suppression) entre la photographie aérienne et la carte topographique, sur différentes classes d'objets (bâtiments et routes en particulier).

Pour évaluer l'efficacité des techniques de multiplexage, différents outils de juxtaposition et de superposition ont été utilisés : (a) vues juxtaposées synchronisées, (b) *blending lens*, (c) *translucent overlay*, (d) *swipe*, (e) *offset lens*. Les résultats montrent que la méthode *translucent overlay* (littéralement « superposition translucide ») s'est révélée être la plus efficace, suivie de la lentille *blending lens*. D'autre part, le test utilisateur montre que le *swipe* et la lentille *offset lens* (littéralement « lentille décalée ») sont moins efficaces pour identifier les changements.

Multiplexage spatial et cartographie d'urgence

L'étude de Lobo *et al.* (2015) révèle des tendances significatives dans l'utilisation des outils de multiplexage spatial pour la détection des changements entre deux représentations cartographiques. Cependant, dans le contexte de la cartographie d'urgence, la spécificité des représentations et les pratiques traditionnelles des opérateurs peuvent conduire à une discussion de ces résultats.

En effet, la technique *translucent overlay* (ou superposition translucide) est la plus efficace pour les comparaisons entre une carte topographique et une photographie aérienne. Cependant, entre deux images aériennes (ou satellites), cette technique s'avérera rapidement inadaptée en raison de l'encombrement visuel impliqué par la composition combinée des deux images.

L'outil *swipe* (ou outil de « balayage »), même si son efficacité s'est avérée limitée dans l'étude de Lobo *et*

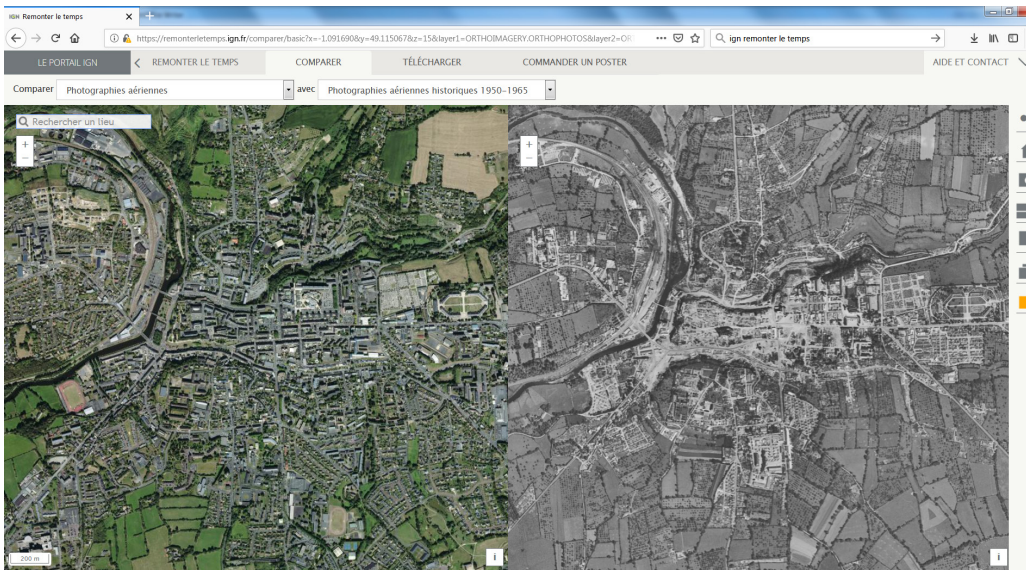

Figure 4 : Vues juxtaposées et synchronisées (source: http://remonterletemps.ign.fr)

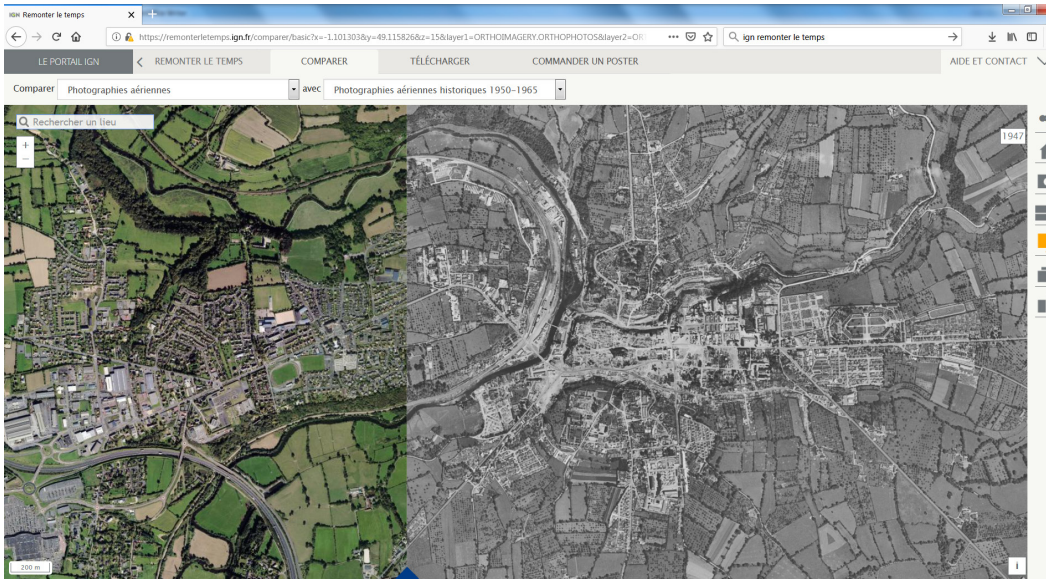

Figure 5 : Outil de swipe (source: http://remonterletemps.ign.fr)

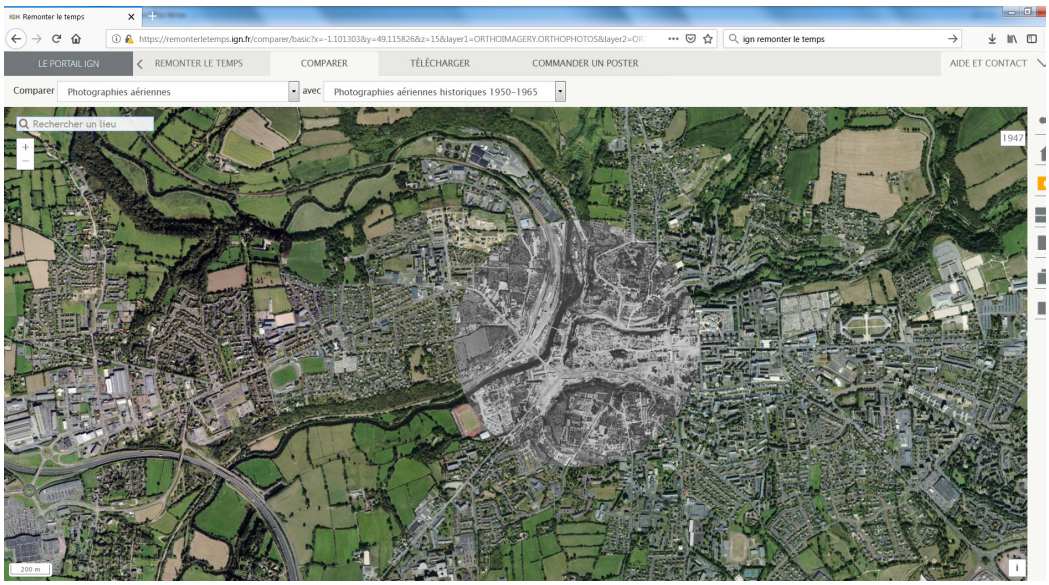

Figure 6 : Magic lens (source: http://remonterletemps.ign.fr)

al. (2015), reste une technique couramment utilisée par les opérateurs de cartographie d'urgence, notamment pour la phase de validation. Cependant, les techniques de *swipe* existantes implémentées dans les logiciels SIG restent limitées aux transitions horizontales ou verticales, qui ne sont pas nécessairement adaptées à la configuration spatiale des impacts à évaluer.

Ces arguments nous amènent à considérer que les techniques de multiplexage spatial efficaces pour la détection de changements ne sont pas nécessairement adaptées à l'évaluation des dommages, en particulier si nous prenons en compte l'impact des caractéristiques de diffusion spatiale des phénomènes naturels sur la distribution des éléments à évaluer. Ainsi, pour gagner en efficacité, nous proposons des techniques originales de comparaison d'images, basées sur les caractéristiques spatiales des aléas naturels.

Proposition : Méthodes de comparaison d'images basées sur les aléas

Sur la base des éléments exposés précédemment sur l'adéquation des techniques de multiplexage spatial pour la cartographie d'urgence, une méthode de comparaison d'images pour l'évaluation des dommages appliquée aux catastrophes naturelles est proposée dans cette section.

Positionnement et proposition

L'analyse critique de l'état de l'art nous montre que les méthodes considérées comme les plus efficaces pour la détection des changements ne conviennent pas forcément à la comparaison d'images acquises avant et après une catastrophe naturelle. Nous proposons donc ici de développer des méthodes de comparaison à la fois : (1) adaptées à la comparaison entre deux images satellites, (2) qui prennent en compte les caractéristiques spatiales de l'aléa naturel.

Les méthodes proposées ont pour objectif de faciliter la comparaison entre les images acquises avant et après une catastrophe dans un contexte de cartographie d'urgence. Cela devrait permettre d'aider les opérateurs à identifier et à évaluer les dommages, mais plus spécifiquement à valider les cartes d'évaluation des dommages (lorsqu'elles sont effectuées par un processus automatique ou par un autre opérateur).

À cette fin, nous proposons de développer des méthodes de comparaison d'images basées sur les aléas. Ces méthodes sont une extension des techniques de *swipe* (ou de balayage), mais qui prennent en compte les caractéristiques de diffusion spatiale de l'aléa pour guider la transition entre les représentations. En effet, si l'étude de Lobo *et al.* (2015) montre que l'outil *swipe* n'est pas efficace pour la détection de changements, nous pouvons supposer que les limites opérationnelles impliquées par la mise en œuvre actuelle de cette technique (utilisant des transitions verticales ou horizontales) peuvent expliquer son inefficacité.

Nous proposons donc ici d'étendre la technique du *swipe* en fonction des caractéristiques de diffusion spatiale des aléas considérés. Par exemple, nous pouvons supposer que pour évaluer les éléments endommagés suite à un tremblement de terre, il semble préférable de partir de l'épicentre du séisme (où les dommages sont supposés être les plus importants) puis de s'en éloigner progressivement. De la même manière, pour évaluer les impacts d'une inondation, il semble préférable de commencer les comparaisons à partir de la rivière et de s'en éloigner progressivement. De plus, il peut être pertinent d'utiliser le relief pour guider la transition entre les deux images.

Illustration sur différents types d'aléas naturels

Pour mieux comprendre les méthodes de comparaison d'images proposées, trois aléas naturels sont utilisés à titre d'exemple : les inondations, les submersions marines et les tremblements de terre.

Inondations

Dans le contexte d'une inondation, la source de l'aléa est représentée par une géométrie linéaire correspondant au centre de la rivière. Cette ligne peut être importée depuis une base de données externe ou capturée par l'opérateur. Nous proposons que la transition entre les images avant et après la crue soit guidée par une diffusion linéaire à partir de la rivière (figure 7), ou éventuellement en tenant compte de la morphologie du terrain. Dans ce deuxième cas, la transition entre les deux images est guidée par les altitudes extraites d'un modèle numérique de terrain.

Submersion marine

Dans le contexte d'un phénomène de submersion marine, tel qu'un tsunami par exemple, la source de l'aléa est représentée par une géométrie linéaire correspondant au trait de côte (figure 8). Ce trait de côte peut être importé d'une base de données ou capturé par l'opérateur. Nous proposons que la transition entre les deux images soit guidée par une

diffusion linéaire à partir du trait de côte (ce qui peut être suffisant pour des côtes plates). Pour les côtes à la morphologie plus accidentée, il peut être plus approprié de guider la transition entre les images en utilisant les altitudes extraites d'un modèle numérique de terrain.

Tremblements de terre

Dans le contexte d'un événement sismique, la source de l'aléa est représentée par une géométrie ponctuelle correspondant à l'épicentre du séisme (généralement extraite d'une base de données externe). Nous proposons donc que la transition entre les images avant et après le séisme soit guidée par une diffusion circulaire linéaire de l'épicentre du séisme vers l'extérieur.

Les méthodes de comparaison d'images proposées pourraient également être étendues à d'autres types de dangers (par exemple les ouragans ou les incendies) qui ne seront pas présentés dans cet article.

Un modèle pour la comparaison d'images basée sur l'aléa

Sur la base de ces éléments, un modèle générique de comparaison d'images basée sur les aléas est proposé. Le diagramme de classes UML de la figure 9 formalise les différents concepts (en utilisant des classes et des relations) afin de *comparer* les *représentations* avant et après une catastrophe naturelle, en utilisant une transition partant de la source de l'*aléa* (par exemple, l'épicentre d'un séisme) et pouvant être éventuellement guidée à l'aide du *relief*.

Dans ce diagramme UML, la comparaison entre deux images est formalisée à l'aide de la classe «Comparaison» associée à la classe «Representation» selon deux types de relations: «avant» ou «après». Pour décrire les caractéristiques de la méthode de comparaison (c'est-à-dire l'attribut «methodeType»), la classe «Comparaison» est associée aux classes «Alea» et «Relief». La classe «Alea» est caractérisée par deux attributs : l'attribut «type» décrit le type d'aléa (par exemple, un séisme ou un tsunami) et l'attribut «source» décrit la source de l'aléa pour la comparaison. La source est une géométrie, qui peut être un point (par exemple, l'épicentre du séisme) ou une ligne (par exemple, un trait de côte ou une rivière). Enfin, la classe «Relief» est caractérisée par l'attribut «estPlat» qui définit si le relief est pris en compte pour la comparaison.

Afin d'étendre la mise en œuvre de ce modèle générique, le développement d'un prototype de comparaison d'images dans un logiciel SIG a été réalisé.

Un outil SIG pour la comparaison d'images

Sur la base du modèle présenté précédemment, un premier prototype permettant de mettre en œuvre des méthodes de comparaison d'images basées sur les aléas a été développé en tant qu'extension du logiciel QGIS (QGIS, 2018). Ce logiciel a été choisi puisqu'il est gratuit et son code source est ouvert, et qu'il est utilisé par une grande communauté d'utilisateurs. Le choix de ce logiciel est également justifié par la nouvelle catégorie d'opérateurs réalisant des cartographies d'urgence. En effet, si des services spécialisés produisent des cartes d'évaluation des dommages, les contributeurs volontaires participent également à la cartographie d'urgence, et nous sommes conscients que cette catégorie d'utilisateurs est plus susceptible d'utiliser un logiciel libre et open source.

Développement d'une extension QGIS

Le prototype proposé est une extension classique du logiciel QGIS. Comme exposé en figure 10 et par correspondance avec le diagramme de classes UML (figure 9), l'outil permet à l'utilisateur de sélectionner le type d'aléa (c'est-à-dire l'attribut «type» de la classe «Alea»), les images avant et après la catastrophe (c'est-à-dire les instances de la classe «Representation»), la source de l'aléa (c'est-à-dire l'attribut «source» de la classe «Alea»), et éventuellement d'utiliser un modèle numérique de terrain pour guider les transitions en suivant les altitudes (c'est-à-dire l'attribut «estPlat» de la classe «Relief»). Les transitions sont ensuite effectuées à l'aide d'un curseur, permettant d'afficher progressivement l'image en arrière-plan, et en suivant les caractéristiques de diffusion spatiale de l'aléa considéré.

Traitement pour la comparaison d'images

En termes de traitement, l'image au premier plan est rendue transparente en attribuant une «valeur de transparence» aux pixels situés dans la zone de diffusion de l'aléa. La «valeur de transparence» est une valeur spécifique (par exemple -9999), utilisée par le logiciel QGIS pour déterminer les pixels d'une image qui sont rendus transparents. Pour affecter la « valeur de transparence » à l'image au premier plan, le traitement suivant est effectué:

1. Génération d'un polygone autour de la source de l'aléa (en utilisant une zone tampon ou éventuellement le relief),
2. Identification des pixels superposés par le polygone dans l'image au premier plan,

Figure 7 : Images avant (RapidEye, 20 novembre 2016, à gauche) et après (WorldView-2, 30 août 2017, à droite) les inondations dans la région de Brookshire, au Texas (crédit: DigitalGlobe)

Figure 8 : Images avant (le 23 janvier 2010, à gauche) et après (le 12 mars 2011, à droite) le tsunami dans la région d'Iwaki, au Japon (crédit: GeoEye / EyeQ)

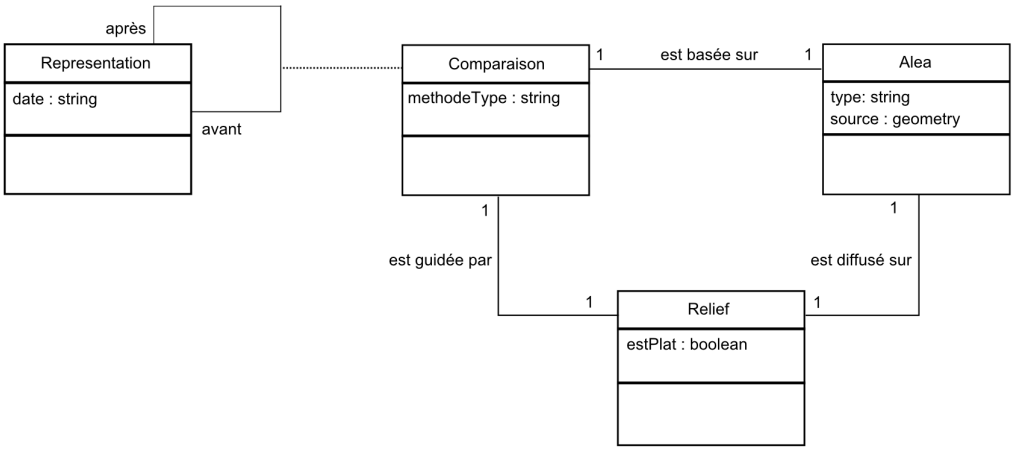

Figure 9 : Diagramme de classe UML pour la comparaison d'images basée sur les aléas

3. Affectation de la « valeur de transparence » aux pixels superposés identifiés dans l'image au premier plan,
4. Rendu de l'image au premier plan avec des pixels transparents, pour rendre visible l'image à l'arrière-plan.

Pour effectuer le traitement décrit ci-dessus, deux stratégies sont proposées, avec des caractéristiques de consommation de temps de traitement variables. Dans la première stratégie, le traitement est effectué chaque fois que le curseur est déplacé sur l'interface utilisateur. Cette stratégie est adaptée aux images de petite taille et aux transitions sans relief, mais pour les images de grande taille, elle s'avère consommatrice de temps de calcul et la période de transition entre les images peut être rendue considérablement longue. Pour éviter ces limitations, une deuxième stratégie, basée sur la génération d'un cache d'images pré-calculées, est proposée. Dans cette seconde stratégie, un ensemble d'images de premier plan avec transparence est généré à l'aide du traitement détaillé ci-dessus, basé sur des polygones d'étendue progressive autour de la source d'aléa (en utilisant le relief ou non). Avec cette stratégie alternative, l'image de premier plan est activée en fonction de la valeur du curseur dans l'interface utilisateur, ce qui évite de calculer les images de premier plan à chaque événement du curseur.

Pour le moment, seule la première stratégie est mise en œuvre dans l'extension QGIS proposée.

Cas d'étude

Pour illustrer le fonctionnement du prototype, la figure 11 montre une comparaison d'images avant et après le tsunami à Palu (île de Sulawesy, Indonésie), survenu le 28 septembre 2018.

Pour cette comparaison, la source de l'aléa est le trait de côte (la ligne bleue) et la transition est représentée à trois niveaux (100 m, 200 m et 300 m à l'intérieur des terres), sans utiliser les altitudes.

Pour effectuer la transition, trois zones tampon ont été construites successivement autour du littoral (uniquement à l'intérieur des terres), afin de générer trois images de premier plan (avant le tsunami) avec une zone de transparence en expansion, permettant de révéler progressivement l'image d'arrière-plan (après le tsunami).

Discussion

La méthode proposée permet déjà aux opérateurs de cartographie d'urgence de comparer deux images (avant et après une catastrophe naturelle) à l'aide de transitions guidées par les caractéristiques spatiales de l'aléa. Cette méthode peut être considérée comme une extension de l'outil de *swipe*, mais qui ne se limite pas aux transitions verticales ou horizontales. Cette contribution est proche du travail proposé par Lobo *et al.* (2018) sur la proposition de plans d'animation entre images satellites (avant et après). La particularité de cette contribution est qu'elle s'applique spécifiquement à l'évaluation des impacts des aléas naturels et que sa mise en œuvre est réalisée dans un environnement SIG dédié.

Si l'extension QGIS développée est fonctionnelle, dans son état actuel, le temps de traitement est encore trop long pour qu'elle soit utilisée de manière opérationnelle dans un contexte de cartographie d'urgence. En effet, pour générer des transitions entre images selon une source d'aléa considérée, le procédé proposé attribue des valeurs de transparence à des pixels situés dans la bande de transition. Si cette méthode permet d'attribuer des valeurs de transparence dans un délai raisonnable pour les images de petite taille, le temps de traitement pour les images volumineuses risque de ne plus être acceptable.

Une méthode exploratoire permettant de rendre la navigation plus fluide lors des transitions entre images consiste à générer un cache d'images avec des valeurs de transparence pré-calculées pour chaque étape de diffusion spatiale à partir de la source d'aléa. Toutefois, si cette alternative offre la possibilité de naviguer de manière plus fluide entre deux images, le temps de calcul avant l'activation de l'extension peut également s'avérer long. Ainsi, une réflexion plus globale sur les avantages et les inconvénients de ces différentes stratégies doit donc être menée afin d'identifier la meilleure solution pour une utilisation opérationnelle dans un contexte d'urgence, avec une forte pression du temps.

Enfin, une fois que la stratégie de transition la plus fluide sera élaborée, l'étape finale consistera à effectuer un test utilisateur avec des opérateurs de cartographie d'urgence, afin d'évaluer l'efficacité des méthodes de comparaison d'images basées sur les aléas proposées pour les tâches d'évaluation des dommages.

Conclusion

Dans cet article, nous proposons de développer des méthodes de transition basées sur les aléas afin de faciliter la comparaison d'images acquises avant et après des catastrophes naturelles, afin d'améliorer l'efficacité des tâches d'évaluation des dommages dans un contexte de cartographie d'urgence.

Cette contribution est initialement motivée par

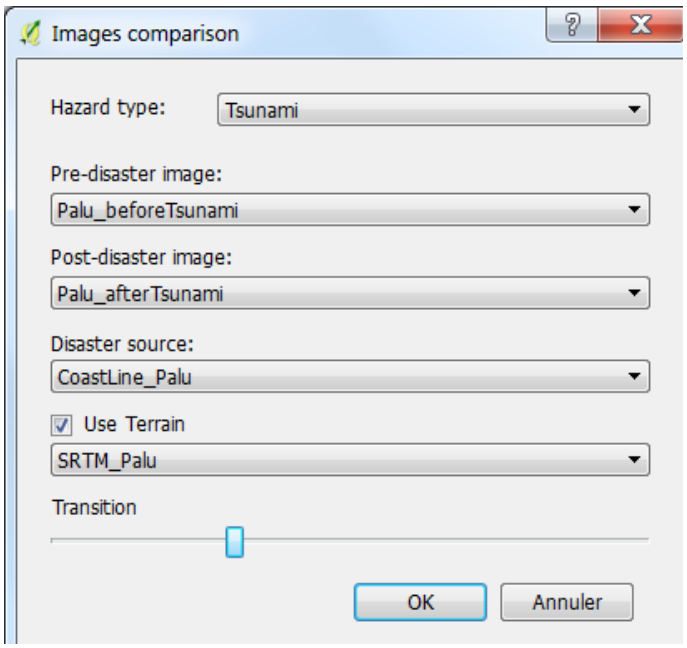

Figure 10 : Interface utilisateur de l'extension QGIS pour la comparaison d'images basée sur les aléas

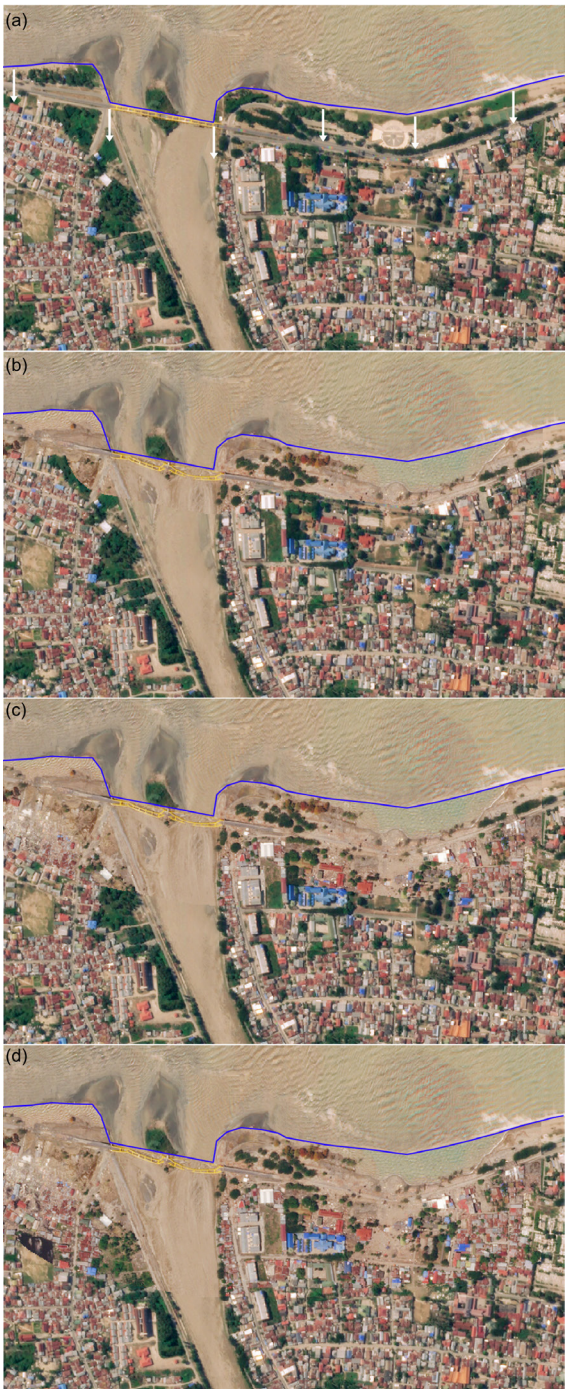

Figure 11 : Comparaison des images avant et après le tsunami à Palu, Indonésie (crédit Planet Labs): état initial (a) et transitions utilisant des distances de 100 m. (b), 200 m. (c) et 300 m. (d) à l'intérieur des terres.

une observation montrant que les fonctionnalités de comparaison d'images actuellement implémentées dans la majorité des logiciels SIG et de télédétection demeurent relativement limitées. Dans un contexte de cartographie d'urgence, avec de fortes contraintes d'efficacité, nous considérons que ces limitations peuvent constituer une charge pour les opérateurs et qu'un développement approprié devrait être proposé afin d'améliorer les tâches spécifiques de comparaison d'images.

Par conséquent, cette contribution a pour objectif de proposer des méthodes originales de comparaison d'images qui prennent en compte les caractéristiques de diffusion spatiale des aléas naturels dont les impacts sont évalués. L'hypothèse sous-jacente est que les méthodes de comparaison d'images basées sur les aléas peuvent permettre aux opérateurs de cartographie d'urgence de gagner en efficacité, en particulier pour les tâches spécifiques de validation de l'évaluation des dommages, par comparaison avec les méthodes classiquement implémentées dans les logiciels SIG.

Dans cette optique, un modèle générique de comparaison d'images (avant et après une catastrophe naturelle) basé sur les aléas a été développé, ainsi qu'une première implémentation d'un prototype dans une extension du logiciel SIG QGIS. Si à l'heure actuelle, le temps de calcul ne permet pas d'utiliser les méthodes proposées de manière opérationnelle, des investigations spécifiques pour optimiser les transitions entre images seront prochainement effectuées.

Enfin, nous avons l'intention de réaliser des tests utilisateurs afin d'évaluer les avantages des méthodes proposées pour les tâches d'évaluation des dommages lors d'opérations de cartographie d'urgence.

Remerciements

L'auteur remercie le projet ANR MapMuxing pour le financement de cette recherche.

Bibliographie

Adams B., Huyck C., Mansouri B., *et al.*, 2004, « Application of high-resolution optical satellite imagery for post-earthquake damage assessment: The 2003 Boumerdes (Algeria) and Bam (Iran) earthquakes ». *Research Progress and Accomplishments 2003-2004*, Buffalo: MCEER.

Allenbach B., Andreoli R., Battiston S., *et al.*, 2005, « Rapid EO disaster mapping service: Added value, feedback and perspectives after 4 years of charter actions ». *IEEE Proceedings of International Geoscience And Remote Sensing Symposium 2005*, vol. 6, p. 4373-4378.

Bessis J.L., Béquignon J., Mahmood A., 2004, « The International Charter "Space and Major Disasters" initiative ». *Acta Astronautica*, vol. 54, n° 3, p. 183-190.

Boccardo P., 2013, « New perspectives in emergency mapping ». *European Journal of Remote Sensing*, vol. 46, n°1, p. 571-582, doi: 10.5721/EuJRS20134633

Chesnel A.L., Binet R., Wald L., 2007, « Damage assessment on buildings using very high resolution multimodal images and GIS ». *Proceedings of the 5th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Management Applications*, Washington, DC, United States, Septembre 2007.

Federal Office for Civil Protection (2003). *Swiss integrated risk management cycle*.

Girres J.-F., Leone F., Péroche M., *et al.*, 2018, « Analysis of tsunami evacuation maps for a consensual symbolization rules proposal ». *International Journal of Cartography*, vol. 4, n°1, p. 4-24.

Gleicher M., Albers D., Walker R., *et al.*, 2011, « Visual comparison for information visualization ». *Information Visualization*, vol. 10, n°4, p. 289-309.

Goodchild M.F., 2007, « Citizens as sensors: The World of Volunteered Geography ». *GeoJournal*, vol. 69, n°4, p.211-221.

Jones R., Cawood M., Durham K., 2001, « An Australian innovation in emergency risk management ». *International Journal of Risk Assessment and Management*, vol. 2, n°3-4, p. 288-302.

Karnick P., Cline D., Jeschke S., *et al.*, 2010, « Route Visualization Using Detail Lenses ». *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 16, n°2, p. 235-247. doi:10.1109/TVCG.2009.65

Konecny M., Zlatanova S., Bandrova T., 2010, *Geographic information and cartography for risk and crisis management*. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag (Lecture Notes in GeoInformation and Cartography).

Lobo M.J., Pietriga E., Appert C., 2015, « An Evaluation of Interactive Map Comparison Techniques ». *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'15)*, Seoul, South Korea, Avril 2015. p. 3573-3582.

Lobo M.J., Appert C., Pietriga E., 2018, « Animation Plans for Before-and-After Satellite Images ». *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, vol. 24, n°1, À paraître .

Pindat C., Pietriga E., Chapuis O., Puech C., 2012, « JellyLens: Content-Aware Adaptive Lenses ». *Proceedings of the 25th Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'12)*, Octobre 2012, Cambridge, MA, United States. ACM, p. 261-270.

QGIS Development Team, 2018, *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. URL: http://qgis.osgeo.org

Roche S., Propeck-Zimmermann E., Mericskay B., 2011, « GeoWeb and crisis management: issues and perspectives of volunteered geographic information ». *GeoJournal*, vol. 78, n°1, p 21-40.

Sahal A., Morin J., Schindelé F., Lavigne F., 2011, « A catalog of tsunamis in La Réunion Island (France) from 1883 to 2010 ». *Science of Tsunami Hazards*, vol. 30, n°3, p. 179-190.

Savopol F., Armenakis C., 2002, « Merging of heterogeneous data for emergency mapping: data integration or data fusion? » *Proceedings of ISPRS Conference*, Buenos Aires, Argentina, 7-11 Avril 2002, p. 615-620.

Soden R., Palen L., 2014, « From Crowdsourced Mapping to Community Mapping: The Post-earthquake Work of OpenStreetMap Haiti », dans Rossitto C., Ciolfi L., Martin D., Conein B, *COOP 2014 - Proceedings of the 11th International Conference on the Design of Cooperative Systems*, Nice (France), 27-30 Mai 2014, Springer-Verlag.

Susman P., O'Keefe P., Wisner B., 1983, « Global disasters, a radical interpretation », dans Hewitt K., *Interpretations of Calamity*. Boston, Allen and Unwin. Inc., p. 263-283.

Thiede C., Fuchs G., Schumann H., 2008, « Smart Lenses ». P*roceedings of Smart Graphics (SG)*, Springer, p. 178–189.

Tominski C., Gladisch V., Kister U., *et al.*, 2017, « Interactive Lenses for Visualization: An Extended Survey ». *Computer Graphic Forum*, vol 36, n°6, p. 173-200.

United Nations Development Program, 2004, *Reducing Disaster Risk. A Challenge for Development.* New York., UNDP – Bureau for Crisis Prevention and Recovery.

Van Oosterom P., Zlatanova S., Fendel E., 2005, *Geo-information for disaster management*. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag,.

Voigt S., Riedlinger T., Reinartz P., *et al.*, 2005, « Experience and Perspective of Providing Satellite Based Crisis Information, Emergency Mapping & Disaster Monitoring Information to Decision Makers and Relief Workers », dans van Oosterom P., Zlatanova S., Fendel E.M., *Geo-information for Disaster Management*. Berlin, Heidelberg, Springer, p 519-531.

Voigt S., Giulio-Tonolo F., Lyons J., *et al.*, 2016, « Global trends in satellite-based emergency mapping ». *Science*, vol.353, n°6296, p. 247-252.

Ware C., Lewis M., 1995, « The DragMag Image Magnifier ». *Proceedings of Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*, 07-11 Mai, 1995, Denver, Colorado, USA, p.407-408.