Vulnérabilité face aux catastrophes naturelles : comportements de mise en protection et gestion de l'évacuation en cas de crue rapide

Kevin Chapuis, Isabelle Ruin, Alexis Drogoul, Thi Thu Trang Ngo, Benoit Gaudou, Tien Dung Tran Ngoc

▶ **To cite this version:**

Kevin Chapuis, Isabelle Ruin, Alexis Drogoul, Thi Thu Trang Ngo, Benoit Gaudou, et al.. Vulnérabilité face aux catastrophes naturelles : comportements de mise en protection et gestion de l'évacuation en cas de crue rapide. La Francophonie en Asie-Pacifique, 2021, Environnement et développement durable en Asie du Sud-Est, 6 (2020) (6), pp.1-18. hal-03258918

HAL Id: hal-03258918
https://hal.science/hal-03258918

Submitted on 12 Jun 2021

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.

Vulnérabilité face aux catastrophes naturelles: comportements de mise en protections et gestion de l'évacuation en cas de crue rapide

Chapuis, K., Ruin, I., Drogoul, A., Ngo Thi, T. T., Gaudou, B., Tran Ngoc, T. D.

June 6, 2020

Résumé

Dans le contexte de crues rapides en milieu urbain, le temps de réponse des populations est un facteur majeur de réduction des risques. L'intervalle entre la survenance de la crue et la mise en protection des populations est principalement impacté par le caractère rapide de l'aléa, par la structure du tissu urbain perturbant les dynamiques d'évacuation et par le contexte institutionnel de prévention et de mise en alerte des pays. Les approches de simulation à base d'agents visent à modéliser conjointement la dynamique de l'aléa avec celle des populations exposées pour proposer des solutions permettant de réduire les vulnérabilités individuelles lors de ces événements à dynamique rapide. La perspective proposée dans cette contribution est construite sur une analyse d'enquête de terrain, prolongée d'une modélisation des comportements de mise en protection et de leur simulation informatique à l'aide de systèmes multi-agents.

0.1 Introduction

La prévention des impacts sociaux dus à des aléas soudains et localisés comme les crues rapides et inondations urbaines reste un défi pour les prévisionnistes, les gestionnaires de crise et les responsables territoriaux. Les progrès réalisés en matière de prévision hydro-météorologique et de systèmes d'alerte ne peuvent pas seuls garantir la réduction des pertes humaines et matérielles lors de ces événements brutaux. Des facteurs de vulnérabilité sociale et comportementale doivent être intégrés aux efforts de prévision opérationnelle pour mieux appréhender et prévenir le risque humain pendant les crues rapides.

Dans de nombreux pays développés, la surveillance, la prévention et la gestion des risques sont inscrits de longue date dans des cadres législatifs précis. Ces derniers évoluent à l'occasion de catastrophes exceptionnelles ou récurrentes qui mobilisent les opinions publiques et les gouvernances nationales et internationales. Dans des contextes où les priorités socio-économiques et sanitaires privilégient le présent à

une hypothétique crise, les initiatives locales, parfois mises en place de manière informelle à partir d'initiatives individuelles ou communautaires, sont particulièrement intéressantes à étudier dans la mesure où elles peuvent se substituer en partie à l'absence de planification et de gestion centralisées [19, 7, 24, 18]. De plus, la vitesse d'occurrence des crues rapides implique que les gestionnaires de crise et les services de secours n'ont bien souvent pas le temps matériel d'alerter et de venir en aide à toutes les personnes ou communautés exposées. Pourtant, les individus et les groupes improvisés parviennent à s'informer, à s'organiser et à s'auto-protéger, dans de nombreux cas sans l'implication des autorités locales en charge de la gestion de crise [7]. Ce type d'actions, souvent improvisées, peut être à l'origine de phénomènes émergents difficilement prévisibles. Cette compréhension des processus socio-environnementaux en jeu dans la dynamique des réponses humaines face aux inondations est donc une étape essentielle pour envisager leur modélisation et l'anticipation de potentiels impacts sur la mise en oeuvre de plans d'évacuation.

Cet article décrit les efforts conjoints d'experts de la modélisation des systèmes complexes et de chercheurs en sciences sociales pour prendre en compte la variabilité des comportements et des dynamiques locales de mise en protection lors d'inondations urbaines au Vietnam et en France.

0.2 ESCAPE : Un modèle à base d'agents d'évacuation de ville en cas de catastrophe

Depuis plus de 30 ans, la modélisation à base d'agents s'est imposée comme une approche majeure pour comprendre, décrire et explorer l'évolution de systèmes socio-environnementaux complexes tels que les dynamiques d'opinion [13], la gestion des transports [16], l'évacuation de bâtiments [31] ou les changements d'usage des terres [10]. En effet, contrairement aux approches purement mathématiques ou statistiques, les modèles à base d'agents décrivent avec un haut niveau d'expressivité algorithmique (proche d'une description en langage naturel) les entités actives (e.g. individus, groupes, institutions), réactives (e.g. aléas, véhicules)

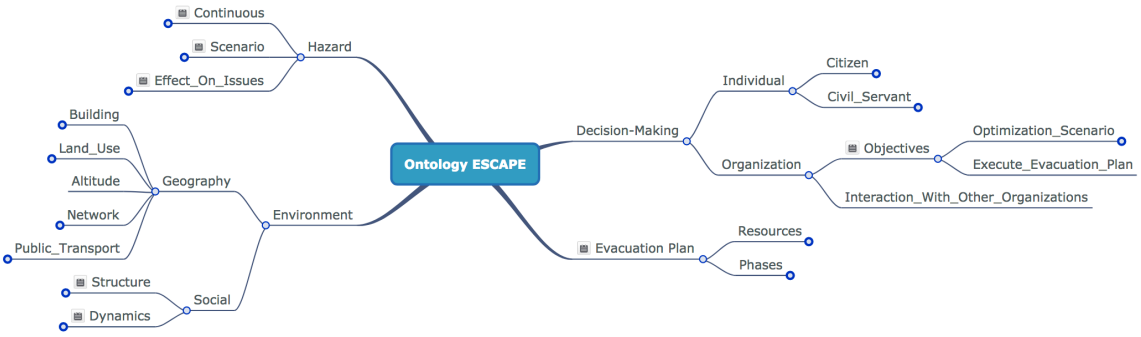

Figure 1: Diagramme représentant les concepts centraux du modèle Escape

ou inactives (e.g. routes, bâtiments) ainsi que les processus de décision, comportements et interactions qui définissent le système étudié. De plus, l'approche à base d'agents permet d'explorer l'ensemble des conséquences potentielles en simulant la dynamique du système de l'échelle individuelle à l'échelle globale. Ainsi, il est possible d'étudier les devenirs possibles ou alternatifs d'un système à partir de scénarios empiriques ou théoriques, d'analyser les impacts d'interventions ou de déterminer des solutions satisfaisantes pour contrôler son évolution. C'est dans cette optique que s'inscrit le projet ESCAPE [8], qui vise à étudier l'évacuation de villes en cas de catastrophe. Il s'appuie sur une expertise reconnue dans la modélisation à base d'agents [28] des réponses individuelles [3] et collectives [4, 2] en situation de crise. L'idée directrice du projet s'articule autour de deux axes: d'une part, une approche centrée sur la représentation d'un plan d'évacuation, des organisations en charge de son déroulement, de l'allocation de ressources et d'actions définies sur et pour les populations en fonction de différents niveaux d'alerte, et, d'autre part, une approche s'intéressant aux réponses individuelles et collectives à la situation de crise. De plus, le simulateur inclut une représentation détaillée de la zone étudiée à partir de multiples données géographiques – i.e. réseau de routes, bâtiments, zones piétonnes, abris et zones d'évacuation – ainsi qu'un descriptif temporel et spatial de la catastrophe étudiée – i.e. zones d'extensions (sous forme de système d'information géographique) décrivant l'évolution de la catastrophe dans le temps.

Le cadre général d'ESCAPE est formalisé dans la figure 1. On y retrouve les quatre dimensions de la

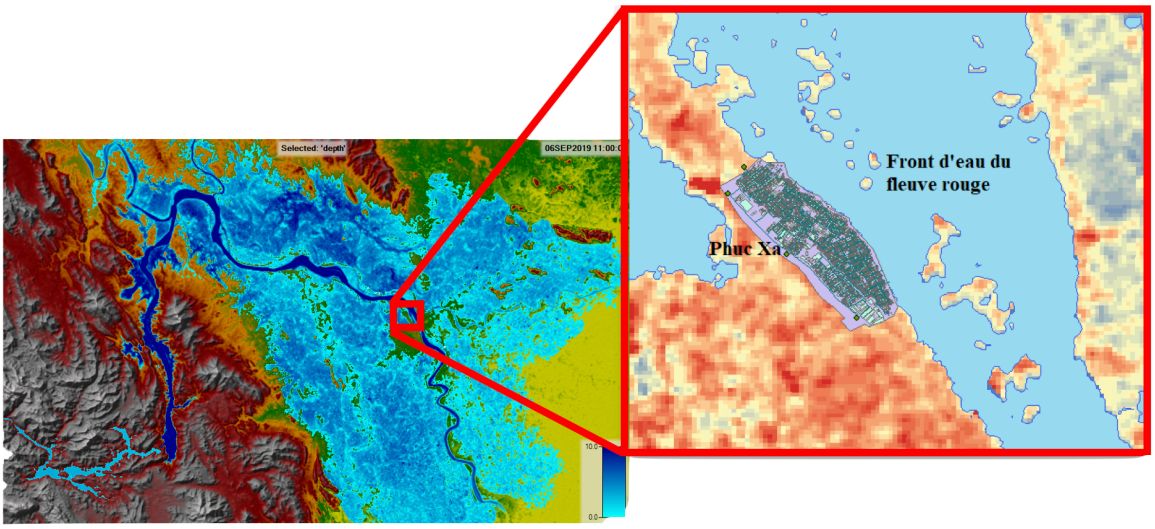

Figure 2: Simulation de l'inondation provoquée par la rupture du barrage de Hoa Binh, sur Ha Noi et le quartire de Phuc Xa.

démarche de modélisation proposée : description de la catastrophe à partir de données géographiques (en haut à gauche), des individus qui tentent d'évacuer ainsi que des organisations chargées de faciliter l'évacuation à partir de modèles (en haut à droite), du plan d'évacuation tel que défini par les autorités concernées (en bas à droite), et de l'environnement géographique relatif au cas d'étude (en bas à gauche). L'aspect central du cadre de modélisation d'ESCAPE se situe à la croisée du déroulement du plan d'évacuation assuré par des agents organisations d'une part, et des réponses individuelles et collectives à la situation de crise (incluant la catastrophe et les consignes des autorités) d'autre part. L'un des objectifs du projet est d'étudier l'impact du comportement des populations touchées sur le déroulement de la procédure d'évacuation prévue.

0.2.1 Scenario de rupture du barrage de Hoa Binh et évacuation de la ville de Ha Noi, Viet Nam

La capitale du Viet Nam, Ha Noi, est située dans le delta du Fleuve Rouge. De par la géographie du terrain (extrêmement plat), la présence de nombreuses rivières et l'endiguement de la ville, Ha Noi subit des inondations régulières dues principalement aux précipitations. Néanmoins, en amont, le barrage de Hoa

Binh, situé sur la Rivière Noire, l'un des principaux affluents du Fleuve Rouge, pourrait constituer une menace beaucoup plus importante en cas de rupture. Situé à 120 km en suivant le cours des rivières (60km à vol d'oiseau), ce barrage est le plus grands du Vietnam et possède un réservoir de 208 km^2 contenant 1 600 000 000 m^3 d'eau. Sa rupture provoquerait une inondation qui atteindrait Ha Noi et submergerait de nombreux quartiers de la ville (voir Figure 2). Dans le cadre du projet ESCAPE, c'est le quartier de Phuc Xa, au nord du vieux quartier de Ha Noi, qui a été choisi comme zone d'étude des stratégies d'évacuation. Il a deux particularités: la première est d'être situé dans la zone dite inondable, entre le fleuve et la digue, la seconde est d'avoir été construit de façon "informelle", sans schéma directeur ni plan d'urbanisation préalable. Il est donc tout à la fois particulièrement vulnérable aux aléas naturels et en première ligne si une inondation se produit. Le modèle construit s'intéresse à l'évacuation du quartier dans le cas où une vague provenant de la rupture du barrage (ou du moins l'alerte d'évacuation) intervient pendant la journée, interrompant donc les activités des habitants. Pour ce faire, le modèle est construit à partir de données géographiques (bâtiments et routes principalement) et d'une population synthétique réaliste de 15767 agents (possédant comme attributs âge, sexe et localisation initiale dans les bâtiments). Ces agents artificiels disposent également d'agenda (en fonction notamment de leur âge) décrivant leurs activités et leurs déplacements quotidiens. Une fois l'ordre d'évacuation donné, tous les agents tentent de se déplacer pour atteindre des zones d'évacuation préalablement définies (dans le cas de Phuc Xa, il s'agit des accès à la digue). Une des originalités du modèle est la dimension multimodale de l'évacuation : les habitants peuvent en effet se déplacer à pied, en deux-roues ou en voiture et changer de mode de transport au cours de l'évacuation, en fonction par exemple de la circulation, des embouteillages et de l'espace disponible. Le modèle a vocation a être exploré afin de tester et d'évaluer différentes politiques d'évacuation.

Figure 3: Illustration de la simulation de l'évacuation du quartier de Phuc Xa, Ha Noi.

0.2.2 Modéliser l'évacuation par le bas

Le travail sur Phuc Xa, ainsi que sur les autres cas d'étude du projet ESCAPE, a permis de se concentrer sur les modalités pratiques et tactiques des comportements de mobilité [6, 8], puis d'évoluer vers plus de réalisme en accord avec les observations sur les comportements individuels de mise en protection. Le modèle ESCAPE intègre déjà l'architecture BEN [5] pour la gestion des aspects stratégiques de mobilité (i.e. basés sur des agenda) qui a été mobilisée par ailleurs pour décrire les comportements d'agent en cas de crise [31, 1]. Afin de coupler ces recherches à notre perspective, il a donc été nécessaire d'identifier les facteurs déterminants des comportements de mise en protection à représenter. Plusieurs mécanismes cognitifs complexes ont ainsi été introduits pour une représentation réaliste des réponses individuelles et collectives en situation de crise : par exemple, la recherche et la validation d'informations sur le risque (crédibilité de la source et du contenu, recherche de confirmations, etc.), l'évaluation pour soi et autrui de la dangerosité de la situation (incluant des aspects d'émotion, de projection, etc.), le choix et la mise en œuvre d'un ou plusieurs plans d'action (e.g. s'éloigner de la catastrophe, retrouver ses enfants à l'école, etc.). Compte tenu de la vocation d'ESCAPE à tester la robustesse d'un plan d'évacuation, il est primordial d'intégrer ce type de mécanismes individuels,

fortement susceptibles d'en modifier le déroulement. Dans la section suivante, nous décrivons rapidement les résultats d'enquêtes de terrain et les éléments théoriques déterminants pour construire des modèles individuels et collectifs les plus réalistes possibles.

0.3 Vers une prise en compte de l'hétérogénéité des comportements de protection dans les modèles à base d'agent ?

Les chercheurs en sciences sociales ont une longue expérience de l'étude des réponses individuelles et collectives grâce à la collecte de données post-événementielles [12, 20, 9]. Les résultats dans ce domaine de recherche montrent que la réponse aux alertes, qu'elle soit issue de l'observation de signaux environnementaux ou d'origine sociale (message d'alerte), est un processus social séquentiel nécessitant plusieurs phases avant la mise en œuvre de comportements de protection [17, 14]. Ces auteurs ont identifié comme de puissants déterminants de la réaction comportementale des facteurs liés aux caractéristiques du danger, à la nature, au contenu et à la crédibilité des sources d'information, aux caractéristiques individuelles (cognitives, psychomotrices, capital social…) de la personne et au contexte social et culturel au moment de l'alerte. De nombreux freins à l'adoption de comportements de protection ont été identifiés comme par exemple un manque de personnalisation du risque qui peut conduire à une sous-estimation du danger, la peur d'être séparé de ses proches, ou d'abandonner ses biens et ses animaux en cas d'évacuation, ou tout simplement des contraintes de mobilité (moyen de transport, congestion des réseaux, motricité). Dans le cas d'inondations à dynamique rapide, il n'est pas rare que le temps de réaction aux alertes soit plus long que celui réellement disponible, les individus se retrouvent alors surpris et piégés par la montée des eaux au beau milieu de leurs activités et mobilités quotidiennes [23, 25].

Depuis plus de 15 ans, l'utilisation d'entretiens semi-directifs et de questionnaires en ligne post-événementiels auprès de victimes de crues rapides, a permis de collecter près de 800 témoignages à propos

d'une dizaine d'épisode de crues majeures dans le Sud de la France. Ces témoignages ont mis à jour divers types de comportements d'adaptation à la variété des circonstances dans lesquelles les individus se retrouvent confrontés à l'occasion de ce type d'événement [22, 24]. Il ressort de ces études que :

- la phase d'information précédant les actions de mise en protection s'étale dans le temps (sur plusieurs heures) au rythme de la réception/perception de signaux environnementaux et interactions sociales successifs. La vigilance météorologique n'est qu'une information parmi d'autres permettant de réaliser la gravité de la situation [11] ;
- l'anticipation et la nature des actions de protection s'adaptent au rythme imposé par le phénomène physique, en particulier la vitesse de montée des eaux. Ainsi si les premières actions d'information sont concomitantes du début des pluies, la phase de mise en protection débute souvent avec les premiers signes d'inondation lorsque le danger encouru et le ressenti de peur devient prégnant [7, 15] ;
- le délai précédant la mise en protection effective est bien souvent le reflet d'une difficulté à abandonner ses activités en cours, notamment celles liées au travail. En effet, sortir de la routine quotidienne demande un effort cognitif, d'abord en portant une attention particulière à l'environnement puis en cherchant des solutions à un problème spécifique qui remet en cause le déroulement des plans et des tâches prévues pour la journée ;
- le comportement d'évacuation au sens du déplacement massif de population vers des refuges adhoc proposés par les autorités reste un comportement marginal. Le comportement de protection le plus commun face aux inondations rapides est d'abord de chercher à rentrer chez soi et à y rassembler la famille, puis de tenter de sauver ces biens. Si la nécessité s'en fait sentir, c'est plutôt vers les étages hauts, le sien ou ceux de voisins ou de proches, ou vers un lieu refuge improvisé (notamment pour les personnes piégées sur la route) que vont se tourner les personnes en difficultés.

Dans le contexte Vietnamien, des prévisions météorologiques diffusées auprès du grand public informent

sur la possible occurrence de pluies susceptibles d'occasionner des inondations urbaines. Ces dernières sont souvent déclenchées par des orages dont la localisation précise est difficile à prévoir. Ces prévisions ne sont donc pas considérées comme un signal d'alerte clair incitant à la mise en protection. Ainsi lors d'une enquête par questionnaires effectuée en 2016 auprès de 300 habitants de 8 quartiers d'Hô-Chi-Minh-Ville (HCMV) et de 45 entretiens semi-directifs effectués dans ces mêmes quartiers en 2018, il ressort que près de 3/4 des personnes interrogées considérait ne pas avoir été alertées des inondations survenues dans l'année. Néanmoins, même sans alerte officielle, les individus utilisent leur propre expérience des inondations passées pour anticiper leur mise en protection. Les habitants sont particulièrement sensibilisés au risque que représentent les pluies fortes et aux problèmes de drainage en zones urbaines. Ils sont également d'autant plus vigilants lorsque les pluies interviennent en période de fortes marées. Il semble que l'observation de l'accumulation de nuages d'orages servent souvent à initier le processus de mise en protection.

Très peu d'habitants interrogés ont peur pour leur propre sécurité, mais ils redoutent surtout les embouteillages et difficultés de circulations provoqués par les inondations ainsi que les dommages à leur véhicule ou à leur habitation et possessions matérielles. Leur principal objectif lorsqu'ils commencent à suspecter l'arrivée de pluies fortes est de concilier la gestion de leur activité en cours, d'organiser la sécurité de leurs enfants pour les parents, tout en essayant d'anticiper les embouteillages qui ne manqueront pas de se produire à cause des pluies. Ainsi deux stratégies sont adoptées selon la flexibilité des activités en cours, soit essayer de rentrer chez soi pour protéger ce qui peut l'être dès le début de la pluie ou attendre la fin des pluies pour se déplacer. Ces choix sont associés aux types d'emplois et notamment à la capacité à adapter ses horaires de travail. Ainsi les ouvriers n'ont pas la liberté de quitter leur poste en dehors des horaires normaux, ils sont contraints de rester sur leur lieu de travail quoi qu'il arrive, ce qui semble moins le cas pour d'autres professions. Les perceptions du danger associées aux inondation à HCMV et les comportements lors de crues varient également selon les quartiers d'habitation. Les habitants des quartiers les plus fréquemment inondés perçoivent plus fortement les problèmes sanitaires et le danger vital et se disent mieux préparés que les autres.

Les leçons tirées des exemples français et vietnamien précédents montrent l'intérêt de prendre en compte les mobilités et activités quotidiennes comme le contexte initial déterminant les choix de mise en protection en situation d'inondations rapides. Les solutions de protection seront bien évidemment différentes que l'on se trouve au travail, à la maison ou sur la route, mais dans tous les cas les trajectoires de la mobilité quotidienne cristallisent de nombreux enjeux sociaux, économiques ou de sécurité. Enfin si dans le contexte des inondations fréquentes d'HCMV c'est le signal météorologique (début et fin des pluies) qui va fortement influencer la dynamique des réponses individuelles, ce sera le signal de la montée des eaux qui sera plutôt le moteur des déplacements de protection dans le cas français.

0.4 Conclusion et perspectives

Les recherches empiriques et les modèles théoriques de mise en protection appellent au développement de modèles intégrés permettant de simuler l'adaptation des mobilités et des comportement individuels face aux perturbations environnementales que représentent les aléas naturels à dynamiques rapides. L'objectif est de venir en aide aux gestionnaires de crise en identifiant l'émergence de situations potentiellement critiques à partir de ces réponses individuelles. Des modèles de type micro-simulation [27, 26] ou probabilistes [29] ont montré leur intérêt dans ce domaine. Les modèles à base d'agents, qui les prolongent, ont l'intérêt de pouvoir s'appuyer, dans leur définition, sur des comportements de mise en protection riches [3]. Il reste néanmoins plusieurs défis pour les intégrer à une perspective plus large d'aide à la décision en cas de catastrophe urbaine : passage à l'échelle (de la ville notamment) et combinaison avec l'intervention des autorités en charge de l'évacuation. La conjonction de ces deux formes de réponse – i.e. plan d'évacuation et comportement de mise en protection – aux catastrophes a survenance rapide constitue une étape importante pour étudier leurs interactions: le modèle ESCAPE a vocation a remplir cet objectif en proposant et en expérimentant ces deux aspects de façon virtuelle.

Bibliography

[1] C. Adam, J. Dugdale, and C. Garbay. Multi-factor model and simulation of social cohesion and its effect on evacuation. In *HICSS*, Hawaii, United States, Jan. 2019.

[2] C. Adam, C. Garbay, and J. Dugdale. Multi-factor model and simulation of social cohesion and its effect on evacuation. *HICSS 19*, page 11, 2019.

[3] C. Adam and B. Gaudou. Modelling human behaviours in disasters from interviews: Application to melbourne bushfires. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 20(3):12, 2017.

[4] J. Bañgate, J. Dugdale, E. Beck, and C. Adam. A multi-agent system approach in evaluating human spatio-temporal vulnerability to seismic risk using social attachment. In *Risk Analysis and Hazard Mitigation*, Sevilla, Spain, June 2018.

[5] M. Bourgais, P. Taillandier, and L. Vercouter. BEN : An Agent Architecture for Explainable and Expressive Behavior in Social Simulation. In *EXTRAAMAS*, Montréal, Canada, May 2019.

[6] K. Chapuis, P. Taillandier, B. Gaudou, A. Drogoul, and E. Daude. A multi-modal urban traffc agent-based framework to study individual response to catastrophic events. *The 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA2018)*, page 8, 2018.

[7] J.-D. Creutin, M. Borga, E. Gruntfest, C. Lutoff, D. Zoccatelli, and I. Ruin. A space and time framework for analyzing human anticipation of flash floods. *Journal of Hydrology*, 482:14–24, 2013.

[8] E. Daudé, K. Chapuis, P. Taillandier, C. Caron, B. Gaudou, A. Saval, P. Tranouez, A. Drogoul, S. Rey-Coyrehourq, and J.-D. Zucker. ESCAPE: Exploring by simulation cities awareness on population evacuation. In *International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*, page 18, 2019.

[9] T. E. Drabek. Understanding disaster warning responses. *The Social Science Journal*, 36(3):515–523, 1999.

[10] A. Drogoul, N. Q. Huynh, and Q. C. Truong. Coupling Environmental, Social and Economic Models to Understand Land-Use Change Dynamics in the Mekong Delta. *Frontiers in Environmental Science*, 4:19, 2016.

[11] S. Durand and I. Ruin. Social effects of floods on mobilities: a comparison between short-term and long-term perspectives. In C. Lutoff and S. Durand, editors, *Mobilities Facing Hydrometeorological Extreme Events 1.*, pages 23–61. Elsevier, 2018.

[12] E. Gruntfest. What people did during the big thompson flood. Working paper 32, Natural Hazard Center, Boulder, 1977.

[13] S. Huet, G. Deffuant, A. Nugier, M. Streith, and S. Guimond. Resisting hostility generated by terror: An agent-based study. *PLOS ONE*, 14(1):1–17, 01 2019.

[14] M. K. Lindell and R. Perry. *Communicating environmental risk in multiethnic communities*, volume 7. Sage Publications, 2003.

[15] C. Lutoff, J.-D. Creutin, I. Ruin, and M. Borga. Anticipating flash-floods: Multi-scale aspects of the social response. *Journal of Hydrology*, 541:626 – 635, 2016. Flash floods, hydro-geomorphic response and risk management.

[16] G. Lämmel, F. Klügl, and K. Nagel. The MATSim network flow model for traffic simulation adapted to large-scale emergency egress and an application to the evacuation of the indonesian city of padang in case of a tsunami warning. In H. Timmermans, editor, *Pedestrian behavior: models, data collection and applications*. Emerald, 1. ed edition, 2009. OCLC: 730295213.

[17] D. Mileti. Factors related to flood warning response. In *U.S.-Italy Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts, and Management of Extreme Floods*, page 17, Perugia, November 1995.

[18] D. J. Parker and J. W. Handmer. The role of unofficial flood warning systems. *Journal of contingencies and crisis management*, 6(1):45–60, 1998.

[19] D. J. Parker, S. J. Priest, and S. M. Tapsell. Understanding and enhancing the public's behavioural response to flood warning information. *Meteorological Applications: A journal of forecasting, practical applications, training techniques and modelling*, 16(1):103–114, 2009.

[20] E. Quarantelli. A half century of social science disaster research: selected major findings and their applicability. Preliminary paper 336, University of Delaware, Disaster Research Center, Newark, 2003.

[21] E. Quarantelli and R. Dynes. Response to social crisis and disaster. *Annual Review of Sociology*, 3:23–49, 1977.

[22] I. Ruin, J.-D. Creutin, S. Anquetin, E. Gruntfest, and C. Lutoff. Human vulnerability to flash floods: Addressing physical exposure and behavioral questions. In *Flood Risk Management: Research and Practice*, pages 1005–1012, London, 2009. Taylor & Francis Group.

[23] I. Ruin, J.-D. Creutin, S. Anquetin, and C. Lutoff. Human exposure to flash floods - Relation between flood parameters and human vulnerability during a storm of September 2002 in Southern France. *Journal of Hydrology*, 361:199–213, 2008.

[24] I. Ruin, C. Lutoff, B. Boudevillain, J.-D. D. Creutin, S. Anquetin, M. Bertran-Rojo, L. Boissier, L. Bonnifait, M. Borga, L. Colbeau-Justin, and et al. Social and hydrological responses to extreme precipitations: An interdisciplinary strategy for postflood investigation. *Weather, Climate, and Society*, 6(1):135–153, Jan 2014.

[25] I. Ruin, C. Lutoff, and S. Shabou. Anticipating or coping: Behaviors in the face of flash floods. In *Floods*, pages 259–275. Elsevier, 2017.

[26] I. Ruin, S. Shabou, S. Chardonnel, C. Lutoff, and S. Anquetin. When driving to work becomes dangerous. In L. et Durand, editor, *Mobilities Facing Hydrometeorological Extreme Events 2.*, London, In press 2019. ISTE Press Ltd.

[27] S. Shabou, I. Ruin, C. Lutoff, S. Debionne, S. Anquetin, J.-D. Creutin, and X. Beaufils. Mobrisk: a model for assessing the exposure of road users to flash flood events. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(9):1631, 2017.

[28] P. Taillandier, B. Gaudou, A. Grignard, Q.-N. Huynh, N. Marilleau, P. Caillou, D. Philippon, and A. Drogoul. Building, composing and experimenting complex spatial models with the gama platform. *GeoInformatica*, 23(2):299–322, Apr 2019.

[29] G. Terti, I. Ruin, J. J. Gourley, P. Kirstetter, Z. Flamig, J. Blanchet, A. Arthur, and S. Anquetin. Toward probabilistic prediction of flash flood human impacts. *Risk Analysis*, 39(1):140–161, 2019.

[30] T. Tran Ngoc, T. Ngo Thi, L. Loc Huu, and I. Ruin. Individual perception and behavioral adaptation to Ho Chi Minh City inundation risk. In *Saïgon , la ville et le fleuve*, 2017.

[31] M. Valette, B. Gaudou, D. Longin, and P. Taillandier. Modeling a real-case situation of egress using bdi agents with emotions and social skills. In T. Miller, N. Oren, Y. Sakurai, I. Noda, B. T. R. Savarimuthu, and T. Cao Son, editors, *PRIMA 2018: Principles and Practice of Multi-Agent Systems*, pages 3–18, Cham, 2018. Springer International Publishing.