



HAL
open science

Modélisation du risque sismique à Beyrouth (Liban) : comment prendre en compte le comportement humain?

Rouba Iskandar

► **To cite this version:**

Rouba Iskandar. Modélisation du risque sismique à Beyrouth (Liban) : comment prendre en compte le comportement humain?. 2021. hal-03130544

HAL Id: hal-03130544

<https://hal.science/hal-03130544>

Submitted on 3 Feb 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.

Modélisation du risque sismique à Beyrouth (Liban) : comment prendre en compte le comportement humain ?

AUTEUR

Rouba Iskandar, doctorante (CDP Risk@UGA, ISTERre, Pacte, LIG)

Encadrée par : Elise Beck (Pacte), Cécile Cornou (ISTERre), Julie Dugdale (LIG)

CHAPEAU

Au cours de ma formation en génie civil, je me suis intéressée aux séismes et leurs effets sur les bâtiments. Ce sont des thèmes auxquels j'ai pu me familiariser en suivant le master « Géorisques » de l'Université Grenoble Alpes. Ma curiosité m'a ensuite poussée à chercher à comprendre comment les personnes sont impactées par ces séismes. C'est dans ce cadre que se situe mon sujet de thèse: modélisation intégrée du risque sismique en incluant le comportement humain.

CORPS DE L'ARTICLE

Les séismes sont des événements destructeurs qui ont lieu brusquement, sans possibilité d'alerte préalable. La prédiction de façon sûre du moment d'occurrence d'un séisme reste actuellement un verrou scientifique non résolu. Afin d'évaluer la possibilité de survenance de séismes dans une zone géographique d'intérêt et d'estimer leurs éventuels impacts matériels et humains, les scientifiques ont recours à des études d'estimation du risque sismique.

Dans ces études, le risque sismique est défini par ses trois composantes : l'aléa, l'exposition et la vulnérabilité. Bien que, dans la plupart des cas, la définition de cette dernière composante se résume à la vulnérabilité physique des bâtiments, des études récentes [1] introduisent également la vulnérabilité sociale, afin d'illustrer la fragilité et la faible résilience de la société touchée. Ceci permet d'apporter plus de réalisme à l'évaluation des impacts subis lors d'un séisme. Toutefois, il manque encore un élément important pour pouvoir traduire la réalité d'une crise sismique dans sa globalité : le comportement humain en situation de crise.

En effet, la dimension humaine individuelle, illustrée par la mobilité et les comportements des personnes, peut aggraver ou diminuer le risque auquel sont confrontées ces personnes. Ceci a été vu dans plusieurs crises précédentes où certaines actions, ou même inaction, ont eu des conséquences déterminantes sur le sort des individus. C'est le cas par exemple du séisme suivi du tsunami de 2011 de la côte Pacifique du Tōhoku, au Japon, où la plus grande proportion de victimes se trouvait parmi les personnes qui ont tardé à évacuer après l'alerte [2].

L'intégration de la dynamique des comportements humains dans les études d'estimation du risque requiert une approche pluridisciplinaire de manière à capter toutes les facettes d'une crise. C'est pourquoi, dans le cadre de mes travaux de thèse, je propose de développer un indice de risque sismique, basé sur un modèle pluridisciplinaire de crise sismique intégrant des modèles d'aléa, de vulnérabilité physique du bâti, de vulnérabilité sociale et de comportements humains en situation de crise.

Comment modéliser le comportement humain face aux séismes ?

Les modélisations et simulations sociales peuvent être réalisées avec des modèles multi-agents. Dans ce contexte, un agent est une entité informatique autonome capable de percevoir son environnement, réagir et interagir avec d'autres agents. Ces agents peuvent être des agents sociaux (des individus

organisés en famille par exemple), qui peuvent réagir face à des agents inanimés (bâtiments ou débris suite à une secousse).

Dans le cadre de ma thèse, la méthodologie adoptée consiste à modéliser une crise sismique à travers un modèle multi-agents. Pour cela, la première étape est d'établir une abstraction de la réalité d'une crise sismique sous forme d'un modèle conceptuel, et de définir les règles de comportements des agents et de leurs interactions à partir d'observations faites sur des événements passés. Le modèle est toutefois non-déterministe, car les agents ont une probabilité de réaliser chacun des comportements qui leur sont associés, qui varie selon leurs caractéristiques individuelles et le contexte dans lequel ils se trouvent.

Les données requises pour modéliser une crise sismique sont entre autres des données sur les bâtiments, leurs niveaux d'endommagement et les débris générés. Des données sur la population y sont aussi intégrées, ainsi que des modèles de comportement humain et de mobilité en période de crise. L'identification de ces comportements est possible grâce à l'analyse de vidéos de crises sismiques [3] et à travers des enquêtes post-sismiques [4].

Ensuite, le modèle conceptuel est implémenté dans une plateforme de modélisation : GAMA [5], qui permet de réaliser des simulations dynamiques de ce modèle. Ces simulations permettent alors d'exécuter une série d'expérimentations et de tester l'influence sur le risque sismique des différentes variables intégrées, tel que l'accessibilité aux espaces ouverts et la connaissance des consignes de sécurité.

Terrain d'étude : Beyrouth, Liban

L'approche est appliquée à la ville de Beyrouth, capitale et centre institutionnel et économique du Liban. Le Liban a été historiquement touché par plusieurs séismes de forte magnitude. Les plus remarquables sont le séisme de 551 (magnitude 7,5) qui a été suivi d'un tsunami, celui de 1202 (magnitude 7,5), qui a causé des destructions importantes entre la côte libanaise et l'ouest de la Syrie, et le séisme de 1759 (magnitude 7,4), qui a été le dernier tremblement de terre de magnitude supérieure à 7 au Liban [6] [7]. La ville de Beyrouth présente une grande variabilité spatiale en termes d'aléa en raison de ses conditions géologiques, ainsi que de fortes contraintes sur la vulnérabilité physique liées à l'urbanisation dense et hétérogène de la ville, souvent accompagnée du non-respect des codes de construction parasismique. Du point de vue social, une enquête précédente sur les perceptions et les connaissances sur le risque sismique a montré que les personnes à Beyrouth ont une connaissance partielle sur les séismes et les comportements à adopter pour s'en protéger [8].

Des données sur les bâtiments et le sol à Beyrouth ont été collectées dans des études précédentes [9] [10]. Des images satellites sont exploitées pour l'extraction de la topographie de la ville et de l'élévation des bâtiments. Les dommages aux bâtiments et les débris générés pour plusieurs scénarios sismiques plausibles sont quantifiés [11]. Quant aux données sociales, des données statistiques sur les répartitions des tranches d'âge, du genre et de la composition des foyers entre autres sont extraites de la base de données de l'Administration Centrale des Statistiques au Liban. Afin d'identifier les comportements des Libanais face aux séismes, une enquête en ligne est lancée en collaboration avec des universités libanaises [12]. Toutes ces données sont intégrées dans un premier modèle multi-agents pour la simulation de crises sismiques à Beyrouth, et des travaux sont actuellement en cours pour développer et complexifier le modèle.

La prochaine étape consiste à tester plusieurs scénarios de séismes, pour différentes configurations : des scénarios de nuit et de jour par exemple, et analyser les tendances qui en ressortent et l'influence sur le risque sismique à Beyrouth.

Zoom sur la double explosion à Beyrouth du 4 août 2020

Des explosions au port de Beyrouth ont ravagé la capitale Libanaise le 4 août 2020.

La deuxième explosion, assimilée à un séisme de magnitude 3,4 [13], a été si violente que des milliers de bâtiments ont été endommagés laissant aux alentours de 200 victimes, 6 500 blessés et 300 000 personnes sans domicile. Encombrées par de nombreux débris, des routes sont devenues impraticables par les secouristes et les personnes blessées qui essayaient de se rendre aux hôpitaux, dont certains ont été fortement endommagés et presque rendus non-fonctionnels.

Les premiers résultats d'une enquête que nous avons lancée en collaboration avec des chercheurs Libanais pour collecter la réaction des personnes face à cet événement [14] montrent que les personnes ont eu peu de réflexe d'évacuation et témoignent du manque de connaissance des consignes de sécurité.

Tout cela mène à la réflexion suivante : que se passerait-il si un séisme de magnitude 7 toucherait Beyrouth dans un futur proche ? Scenario plausible, vu les séismes passés qu'a connus le Liban.

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme Investissements d'Avenir portant la référence ANR-15-IDEX-02.

REFERENCES

- [1] Carreño, M. L., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2012). New methodology for urban seismic risk assessment from a holistic perspective. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 10(2), 547-565.
<https://doi.org/10.1007/s10518-011-9302-2>
- [2] Sawai, M. (2012). *Who is vulnerable during tsunamis ? Experiences from the Great East Japan Earthquake 2011 and the Indian Ocean Tsunami 2004* (p. 19). United Nations ESCAP.
- [3] Bernardini, G., Quagliarini, E., & D'Orazio, M. (2016). Towards creating a combined database for earthquake pedestrians' evacuation models. *Safety Science*, 82, 77-94.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.09.001>
- [4] Goltz, J. D., Russel, L. A., & Bourque, L. B. (1992). Initial Behavioral Response to a Rapid Onset Disaster : A Case Study of the October 1, 1987 Whittier Narrows Earthquake. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, 10(1). <http://ijmed.org/articles/503/download/>
- [5] Taillandier, P., Gaudou, B., Grignard, A., Huynh, Q.-N., Marilleau, N., Caillou, P., Philippon, D., & Drogoul, A. (2019). Building, composing and experimenting complex spatial models with the GAMA platform. *GeoInformatica*, 23(2), 299-322. <https://doi.org/10.1007/s10707-018-00339-6>
- [6] Daëron, M., Klinger, Y., Tapponnier, P., Elias, A., Jacques, E., & Sursock, A. (2005). Sources of the large A.D. 1202 and 1759 Near East earthquakes. *Geology*, 33(7), 529.
<https://doi.org/10.1130/G21352.1>
- [7] Elias, A., Tapponnier, P., Singh, S. C., King, G. C. P., Briaies, A., Daëron, M., Carton, H., Sursock, A., Jacques, E., Jomaa, R., & Klinger, Y. (2007). Active thrusting offshore Mount Lebanon : Source of the tsunamigenic A.D. 551 Beirut-Tripoli earthquake. *Geology*, 35(8), 755.
<https://doi.org/10.1130/G23631A.1>

- [8] Beck, E., Cartier, S., Colbeau-Justin, L., Azzam, C., & Saikali, M. (2018). Vulnerability to earthquake of Beirut residents (Lebanon) : Perception, knowledge, and protection strategies. *Journal of Risk Research*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/13669877.2018.1466826>
- [9] Brax, M., Bard, P.-Y., Duval, A.-M., Bertrand, E., Rahhal, M.-E., Jomaa, R., Cornou, C., Voisin, C., & Surssock, A. (2018). Towards a microzonation of the Greater Beirut area : An instrumental approach combining earthquake and ambient vibration recordings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(12), 5735-5767. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0438-1>
- [10] Salameh, C., Bard, P.-Y., Guillier, B., Harb, J., Cornou, C., Gérard, J., & Almakari, M. (2017). Using ambient vibration measurements for risk assessment at an urban scale : From numerical proof of concept to Beirut case study (Lebanon). *Earth, Planets and Space*, 69(1). <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0641-3>
- [11] Iskandar R., Al-Tfaily B., Salameh C., Bard P.-Y., Guillier B., Cornou C., Gérard J., Harb J., Fayjaloun R., Beck E., Dugdale J., Lacroix P. & Cartier S. (2019). Buildings damage estimation at fine spatial scale for integrated seismic risk modeling in Beirut (Lebanon). Poster présenté à la 10th conference of the international society for Integrated Disaster Risk Management, 16-18 Octobre 2019. Nice, France.
- [12] Lien vers l'enquête sur les comportements adoptés par les Libanais après un séisme : <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSchG61h-ogNCIDr5BHaLGSHahSUzPikw-Az8bLloZhcymGNyA/viewform?fbclid=IwAR3u98a9PrWy1DUjvtxz1S-Ykr3KLHJh6mdeWMB2YJpQ2Crp6fF6gRBOOC8>
- [13] Estimation de la magnitude associée aux explosions par le Centre Sismologique Euro-Méditerranéen <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/earthquake.php?id=882410>
- [14] Lien vers l'enquête sur les comportements adoptés par les Libanais après les explosions du 4 août 2020 à Beyrouth <https://enquetes.univ-grenoble-alpes.fr/v4/s/fhq0eh>