

LA SISMOLOGIE URBAINE

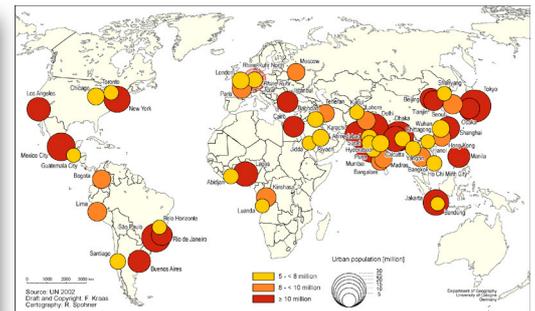
Sans tomber dans une “rousseauisation” excessive, l’homme, en se concentrant de plus en plus dans des noyaux urbains gigantesques, participe à l’explosion des catastrophes sismiques majeurs de ces dernières années. La sismologie urbaine consiste à prendre la mesure de l’environnement urbain dans l’évaluation du risque sismique. Urbanisation excessive et aléa sismique élevé sont les ingrédients d’une sismologie des villes bien différente de la sismologie des champs.

LES MÉGALOPOLES SONT EXPOSÉES À DES MEGASÉISMES

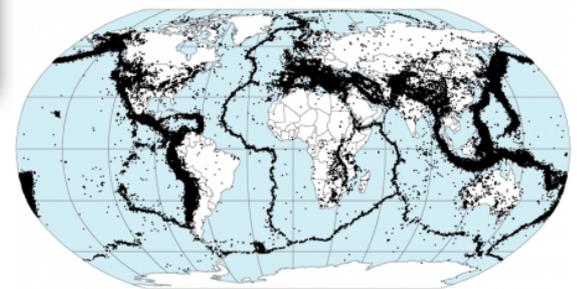
Il existe une relation classique avec laquelle débute chaque exposé abordant les notions de risque, d’aléa et de vulnérabilité. Le risque R est par définition la réunion d’un aléa A, d’une vulnérabilité V à cet aléa et de la valeur de l’élément exposé E. On pourrait débattre longtemps sur la définition et les limites de ces notions, suivant que l’on se place du côté du sismologue, de l’ingénieur ou du sociologue. Coburn et Spence, des scientifiques anglais, rappellent cependant qu’au cours du dernier siècle, le coût des séismes ramené à la valeur de l’année 2000 est de l’ordre de mille milliard de dollars. Rapporté par an, ils constatent que cette valeur augmente au cours du XX^{ème} siècle, essentiellement à cause de l’augmentation et de la concentration des populations dans des grands centres urbains exposés à un aléa sismique fort.

Depuis un siècle, l’aléa ou encore le nombre de séismes par an, n’a ni augmenté ni diminué: seul la vulnérabilité des milieux a évolué. En effet, quelque 50 000 tremblements de terre se produisent en moyenne chaque année, résultat du mouvement des plaques tectoniques. Parmi ces 50 000 événements, quelques uns sont d’une magnitude potentiellement dévastatrice. En dépit de l’amélioration de notre connaissance depuis la confirmation de l’existence de la tectonique des plaques avancée en 1912 par Wegener, il est toujours impossible de connaître exactement où et quand se produiront les prochains grands tremblements de terre. Ce que l’on connaît par contre, c’est l’énorme croissance de la population urbaine située le long des lignes de faille sismiques connues, ce qui rend plus que probable le fait que les futures catastrophes surpasseront celles de San Francisco ou de Tokyo. Non seulement le nombre de personnes à risque est plus élevé que jamais, mais la concentration des richesses et des infrastructures modernes dans les mégapoles pourrait provoquer un tremblement de terre en zone urbaine infiniment plus dévastateur en termes économiques que le tremblement de terre de Kobe en 1995, qui a pourtant causé des pertes économiques de plus de 100 milliards de dollars, ce qui en fait, à ce jour, l’une des catastrophes naturelles les plus coûteuses de tous les temps. Les séismes récents de Haiti (2010) ou de Chine (2009) sont les preuves évidentes de catastrophes à venir.

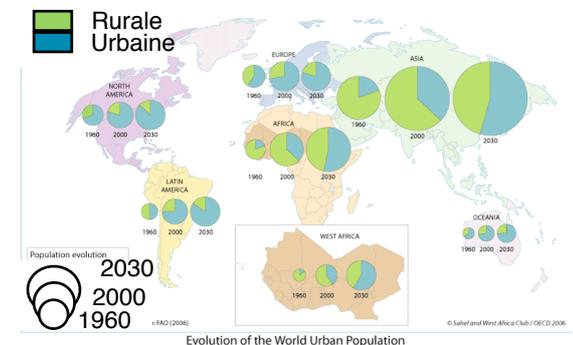
En France, nous ne sommes pas en reste. La sismicité modérée de notre pays conduit à un oubli rapide (voir un déni) du risque sismique. Pourtant, un séisme historique majeur a eu lieu au XX^{ème} siècle qui produisit des effets importants dans la région rurale de Lambesc (Aix-en-Provence). Pour une magnitude estimée supérieure à 6, ce séisme dit séisme de Lambesc (1909), a servi de base en 1982 à une simulation du Ministère en charge de l’environnement afin d’évaluer quel impact ce séisme aurait s’il se produisait maintenant, dans une région depuis fortement urbanisée. Cette simulation conclut alors à des effets directs et indirects majeurs sur les constructions, les vies humaines et l’économie.



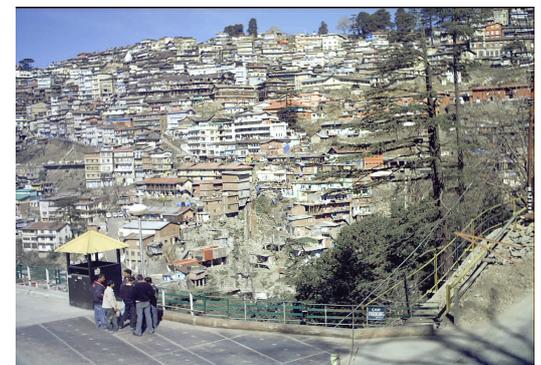
Preliminary Determination of Epicenters
358,214 Events, 1963 - 1998



Comparaison de la localisation des grandes agglomérations et des tremblements de terre dans le monde. On constate des grands centres urbains très exposés, essentiellement le long du Pacifique, en Europe du Sud et en Asie du Sud-Est.



Evolution de la population urbaine par continent. Depuis 1960, la population urbaine ne cesse d’augmenter au détriment de la population rurale, avec une prévision à 2030 qui suit cette tendance.



Exemple d’une nouvelle urbanisation exposée

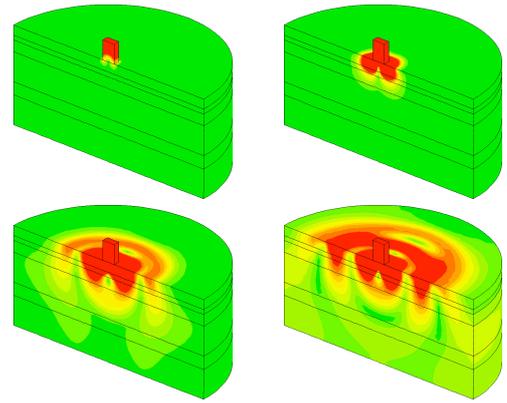
LES INGRÉDIENTS DE LA SISMOLOGIE URBAINE

La sismologie urbaine consiste à s'intéresser simultanément à la définition de l'aléa local, à la réponse et au comportement des structures sous séismes mais également à la particularité du champ d'onde que l'on peut observer en zone urbaine. Finalement, on s'intéressera à la sismologie urbaine afin de pouvoir comprendre la répartition des dommages sismiques en milieu urbain, qui dans certains cas peut montrer des variations latérales importantes, sur de courtes distances, mais aussi faire apparaître des endommagements très localisés dans les structures. Comprendre ces observations nécessite d'intégrer l'ensemble du milieu urbain, depuis le mouvement du sol jusqu'à la réponse de la ville.

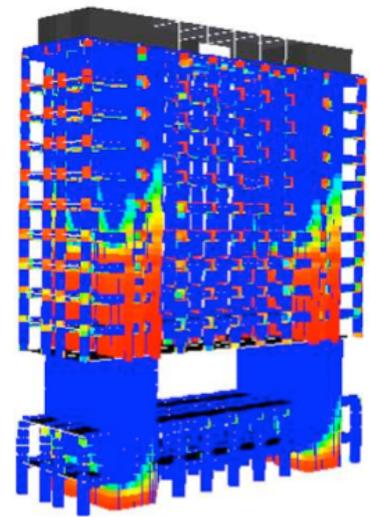
Les conditions locales. L'analyse du champ d'ondes sismiques en milieu urbain a montré l'importance des formations sédimentaires de surface sur le mouvement sismique. On sait en particulier depuis 1985 et le fameux séisme de Michoacan (Mexique) les conséquences que peuvent entraîner des formations très molles et des remplissages sédimentaires à géométrie complexe (2D ou 3D) sur le mouvement du sol. Malheureusement, des effets de site de nature géologique s'observent dans la plupart des villes situées en zones sismiques, car les villes se sont construites pour des raisons historiques sur des terres cultivables, à proximité de cours d'eau ayant déposés des sédiments.

Effet Site-Ville. Tandis que le risque sismique consiste bien souvent à aborder séparément l'aléa et la vulnérabilité, il est légitime de se demander si l'urbain peut modifier, perturber voir contaminer le mouvement sismique incident. On sait bien qu'une onde sismique est sensible à toutes les hétérogénéités qu'elle rencontre, surtout quand celles-ci possèdent des propriétés très différentes de l'environnement où elles se trouvent. Pourquoi ne pas alors considérer les bâtiments comme des points rigides et oscillants, perturbant le champ d'onde en milieu urbain? Cette question est d'autant plus pertinente en présence d'un habitat dense et massif, ce qui à l'aube du XXI^{ème} siècle semble être l'évolution majeure des grandes concentrations urbaines.

La qualité du bâti sismique. Des époques de construction différentes, des techniques et des matériaux qui évoluent, des dispositions architecturales qui transforment le gabarit des édifices font que l'environnement urbain est très hétéroclite. La réponse urbaine va donc varier d'un point à l'autre de la ville. En conséquence, la nécessité – particulièrement dans notre "vieille Europe" – de traiter le problème de l'existant, conduit à proposer des méthodes d'analyse de la vulnérabilité à l'aide de méthodes adaptées au contexte sismologique. Les méthodes classiques empiriques sont limitées et de nouvelles méthodes se développent, expérimentales et s'appuyant sur la recherche des caractéristiques dynamiques d'un bâtiment.



Exemple d'interaction Site-Ville. La vibration d'un bâtiment génère des ondes qui se propagent dans le sol.



Exemple de simulation de l'endommagement de l'Hôtel de Ville de Grenoble. La modélisation réalisée par le laboratoire 3SR de Grenoble montre l'endommagement de la structure (zones rouges) lors d'un séisme fort survenant à Grenoble.

"Extreme catastrophes have been rare only because the exposure of modern megacities to earthquake hazard has been relatively short (#50 years): an increase in the number of such catastrophes now seems to be inevitable."

Jackson, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 2006

EN SAVOIR PLUS.

Coburn A. and R. Spence. 2002. Earthquake protection. John Wiley and Sons, Ltd

Guéguen, P. 2009. Habilitation à diriger les recherches, Université Joseph Fourier.

LES GRANDES CATASTROPHES SISMIQUES SONT À VENIR.

L'augmentation des populations dans des noyaux urbains de plus en plus grands, exposés aux séismes et constitués d'un habitat hétérogène de qualité très variable sont les ingrédients qui positionnent le milieu urbain parmi les éléments les plus critiques de la chaîne du risque sismique. En effet, et les relations dommages physiques/pertes en vies humaines le montrent bien, il y a une forte corrélation entre le nombre de constructions endommagées après un séisme et celui des victimes. Comme le mentionne Jackson, la période de retour des méga tremblements est tellement longue que les mégapoles, dans leur configuration actuelle, n'ont pas encore subi ces tremblements de terre, laissant craindre des catastrophes à venir.