

## SISMOLOGIE URBAINE

L'Homme, en se concentrant de plus en plus dans des centres urbains gigantesques, participe à l'explosion des catastrophes sismiques majeures 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 MÉGALOPOLIS SONT EXPOSÉES À DES MÉGASÉISMES

Les grands séismes qui provoquent des dommages et des pertes considérables (par exemple, Izmit, 1999 ; L'Aquila, 2009 ; Amatrice, 2016) rappellent constamment aux politiques et aux décideurs que **la réduction du risque sismique et une résilience accrue des zones urbaines sont essentielles**, tant pour le bien-être et la sécurité des populations locales que pour le maintien de l'équilibre financier et économique mondial. Cela est d'autant plus important compte tenu de la croissance de la population urbaine mondiale à laquelle nous sommes confrontés et la concentration des richesses et des infrastructures modernes dans les villes.

Coburn et Spence, des scientifiques anglais, ont montré qu'au cours du dernier siècle, le coût des séismes ramené à la valeur de l'année 2000 est de l'ordre de mille milliards de dollars. Rapporté par an, ils constatent que cette valeur augmente au cours du XX<sup>ème</sup> siècle, essentiellement à cause de **l'augmentation et de la concentration des populations dans des grands centres urbains** exposés à un aléa sismique élevé.

Selon l'Organisation mondiale de la santé, la population urbaine en 2014 représentait 54% de la population mondiale totale, en hausse de 34% par rapport à 1960 et devrait croître continuellement d'environ 1,5% à 1,6% par an entre 2015 et 2030. En parallèle, depuis un siècle et l'apparition des observatoires sismologiques, l'aléa ou encore le nombre de séismes par an, n'a ni augmenté ni diminué. Près de 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**.

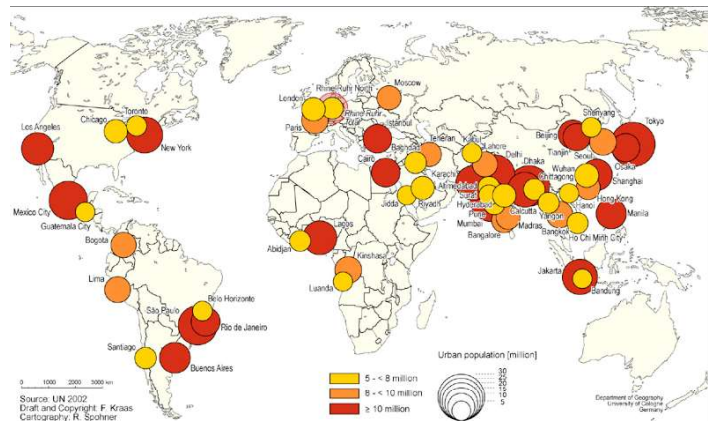
En dépit de l'amélioration de notre connaissance depuis la confirmation de l'existence de la tectonique des plaques au milieu du XX<sup>ème</sup> siècle, il est toujours impossible de prédire exactement où et quand se produiront les prochains grands tremblements de terre. Ce que l'on connaît par contre, 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 en termes de dégâts.

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 avoir comme conséquences des dégâts sismiques en zone

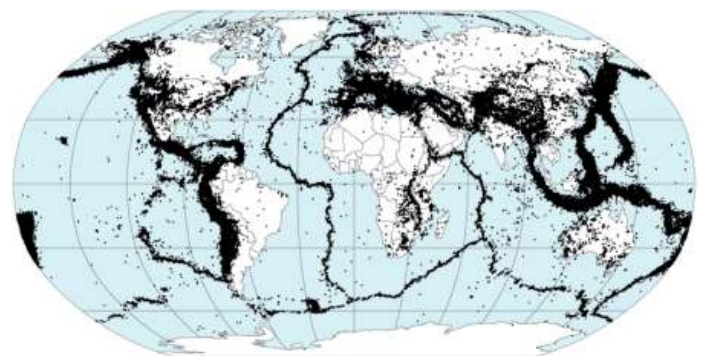
urbaine infiniment **plus dévastateurs en termes économiques** que ce qui a été observé jusqu'à maintenant. En conséquence, les pertes dues aux tremblements de terre devraient s'élever à environ 2,8 millions d'ici à 2100.

Même un tremblement de terre **modéré** peut avoir des **effets dévastateurs sur les environnements urbains et l'économie**, en particulier dans les zones densément peuplées abritant des structures et des infrastructures, des richesses et des biens critiques (le cas du séisme de Napa ou de Christchurch).

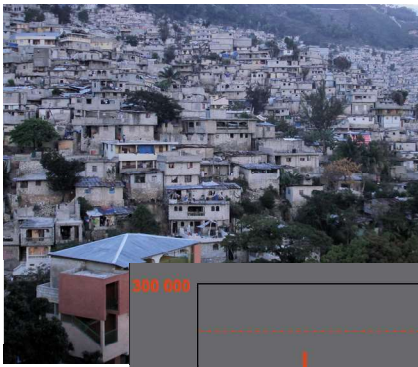
L'apparition de la sismicité induite change également la donne. Une sismicité nouvelle, parfois très près des villes modifie localement l'aléa et par conséquent les pertes potentielles.



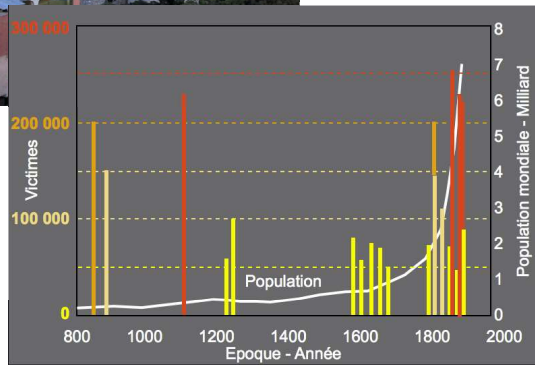
Preliminary Determination of Epicenters  
358,214 Events, 1963 - 1998



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



Hills of Petionville, Haïti  
© Andrew Wiseman



Augmentation des catastrophes sismiques en fonction de la population mondiale - d'après Holzer and Savage, Earthquake Spectra, 2013

## LES INGRÉDIENTS DE LA SISMOLOGIE URBAINE

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 conduisant certains à insister pour la **suppression des règles parasismiques**, et par conséquent **la réduction de la protection des personnes**. Pourtant, un séisme historique majeur a eu lieu au XX<sup>ème</sup> siècle, il produisit en 1909 des effets importants dans la région rurale de **Lambesc** (Aix-en-Provence). Pour une magnitude estimée supérieure à 6, ce séisme a servi de base en 2016 à une simulation réalisée dans le cadre d'un projet financé par la Fondation MAIF destiné à estimer les conséquences économiques et les bâtiments endommagés s'il se produisait en 2016, 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**, du même ordre de grandeur que les séismes d'Italie centrale des années 2000- 2010.

Les environnements urbains ou densément industrialisés concentrent les éléments exposés, en termes de populations et de ressources. Le risque doit être évalué à cette échelle en priorité. Certaines caractéristiques spécifiques aux zones urbaines et industrielles en Europe doivent être analysées, notamment:

- L'**impact d'un séisme** de faible probabilité sur une ville;
- La **prédiction du mouvement du sol** produit par la sismicité naturelle ou induite située à proximité;
- La **modélisation des séismes** à grande distance et leur impact sur l'environnement urbain;
- La **variabilité spatiale du mouvement du sol** qui sollicite les bâtiments de façon différente;
- La **réponse particulière des grandes vallées** (par exemple alpines) sur lesquelles les grandes agglomérations se concentrent ;

- Les **interactions entre le mouvement du sol** pendant un séisme et la **réponse des bâtiments**;

- La **modélisation des pertes** à l'échelle urbaine via des études de vulnérabilité et de risque.

C'est donc une **approche multi-disciplinaire** qui est nécessaire, entre le **génie civil**, la **sismologie**, la **physique des ondes**, la **géotechnique** et l'**actuariat**. Le fil conducteur de ces études reste et doit rester les sciences de la Terre. Ce sont en effet les sciences de la Terre qui pourront amener les ingrédients nécessaires à la définition du risque sismique en zone urbaine.

La **sismologie urbaine** consiste ainsi à s'intéresser simultanément:

**Aux 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, entraînant des effets de site parfois importants. La plupart des villes situées en zones sismiques sont construites sur des formations favorables aux effets de site.

**À l'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. Cette question est d'autant plus pertinente en présence d'un habitat dense et massif, ce qui à l'aube du XX<sup>ème</sup> siècle semble être l'évolution majeure des grandes concentrations urbaines.

**À la qualité du bâti sismique** – Les évolutions constructives font que l'environnement urbain est très hétérogène. La nécessité – particulièrement dans notre "vieille Europe" – de traiter le problème de l'existant qui vieillit naturellement ou lors de séquences d'événements extrêmes, conduit à imaginer des méthodes innovantes pour évaluer et suivre dans le temps la qualité des constructions vis-à-vis du séisme.

**À l'évaluation des pertes** – Des méthodes de simulations des pertes sont nécessaires afin de proposer des mécanismes de protection (basés sur la couverture assurantielle) qui évoluent avec les changements d'exposition à l'aléa sismique des centres urbains et des zones industrialisées.

### 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-séismes 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. La sismologie urbaine doit se développer et proposer des solutions innovantes.