
RISQUE SISMIQUE ET RISQUES TECHNOLOGIQUES

APPLICATION A L'AGGLOMERATION DE MULHOUSE

BECK Élise : Laboratoire Image et Ville – UMR CNRS-ULP 7011 – 3, rue de l'Argonne – 67000 Strasbourg
elise.beck@lorraine.u-strasbg.fr

GRANET Michel : Institut de Physique du Globe de Strasbourg – UMR CNRS-ULP 7516– 5, rue René Descartes – 67000 Strasbourg
Michel.Granet@eost.u-strasbg.fr

WEBER Christiane : Laboratoire Image et Ville – UMR CNRS-ULP 7011 – 3, rue de l'Argonne – 67000 Strasbourg
christiane.weber@lorraine.u-strasbg.fr

RÉSUMÉ. L'étude des interactions entre risque sismique et risques technologiques en milieu urbain poursuit deux objectifs : le premier consiste à acquérir une meilleure connaissance des risques sismique et technologiques dans la région étudiée, et surtout des relations existant entre eux. Le second objectif consiste à imaginer des scénarios catastrophiques de manière à évaluer les conséquences d'une catastrophe dans l'optique d'une meilleure gestion des risques. L'agglomération de Mulhouse (Haut-Rhin, France) se place dans un contexte particulièrement favorable à une telle étude car il s'agit d'une ville industrielle exposée à des risques technologiques et naturels de natures différentes (risque sismique, inondations, explosion, incendie, pollution).

ABSTRACT. *The research aims at studying the interactions between seismic and technological risks in an urban area like Mulhouse (Haut-Rhin, France). The first objective of the study consists in improving the knowledge concerning the seismic and the technological risks in the studied area, and particularly their interactions. The second objective consists in imagining catastrophic scenarios in order to evaluate the consequences of a catastrophe. This would lead to a better risk management. The urban area of Mulhouse stands in a favourable context to such a study, as it is an industrial city exposed to different technological and natural risks (seismic risk, floods, explosion, fires, pollution).*

MOTS-CLÉS : risque technologique, risque sismique, interactions, système d'information géographique, gestion du risque.

KEY WORDS: *technological risk, seismic risk, interactions, geographic information system, risk management.*

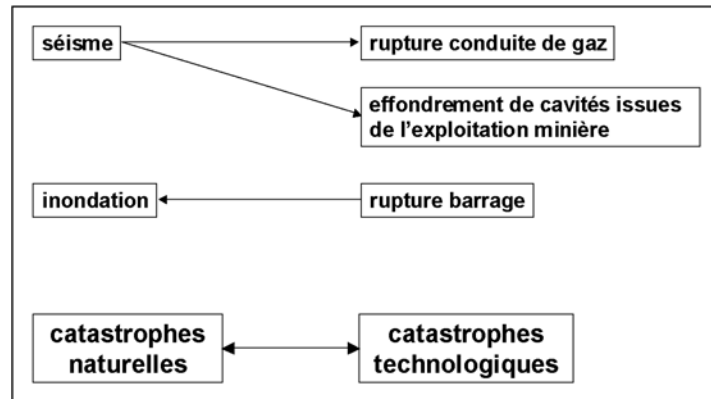
1. Introduction

L'actualité est quasi-quotidiennement marquée par l'occurrence d'événements catastrophiques de natures différentes. Les uns ont une origine naturelle, comme les tremblements de terre : toutes magnitudes confondues, le nombre annuel de séismes sur la surface totale du globe s'élève à un million (MADARIAGA et PERRIER, 1991). Mais tous les événements sismiques ne sont pas d'origine tectonique, certains résultent d'activités anthropiques telles que l'exploitation de carrières, les tirs de mines, la mise en eau d'un barrage, etc. Lorsque des séismes tectoniques affectent des zones peuplées, notamment des villes, ils sont susceptibles d'engendrer des dommages considérables.

Par ailleurs, les activités anthropiques ont des conséquences sur la sécurité des populations, et chacune d'entre elles peut s'avérer dangereuse pour l'homme. En effet, de nombreux incidents et accidents technologiques ont lieu chaque année (CUTTER, 1993).

Certaines catastrophes sont plus complexes qu'un simple séisme tectonique, puisqu'elles sont le résultat de phénomènes en cascade (*figure 1*) : par exemple, un tremblement de terre peut être à l'origine de la rupture de conduites de gaz, de l'effondrement de cavités issues de l'exploitation minière ; la rupture d'un barrage peut aussi entraîner des inondations. Il semble que des relations existent entre certaines catastrophes naturelles et certaines catastrophes technologiques. On peut se demander quelle est la nature de ces liens et comment les caractériser.

Figure 1 : Exemples de relations entre catastrophes naturelles et catastrophes technologiques



La recherche présentée ici a pour objectif d'étudier les interactions qu'il peut y avoir entre risque sismique et risques technologiques, en considérant que le risque est le résultat de la combinaison entre le phénomène catastrophique (ou aléa), qu'il soit naturel ou technologique, et la vulnérabilité. Une telle étude a d'autant plus de sens qu'elle est appliquée au milieu urbain, puisque la ville est, par définition, un milieu vulnérable de par les hommes et les activités qu'elle concentre. Dans le cas présent, l'agglomération de Mulhouse (Haut-Rhin, France) a été choisie en tant que site d'étude. Mulhouse satisfait à la définition de grande ville en raison de son importante population (112 000 habitants, d'après les données du recensement de 1999), et parce qu'elle concentre de nombreuses activités économiques et de services. La vulnérabilité de cette agglomération s'avère être relativement élevée. Par ailleurs, Mulhouse est caractérisée par de nombreuses voies routières, autoroutières, ferroviaires, navigables, ce qui pourrait causer de graves problèmes de congestion en cas de crise.

La première partie de cet article permettra de décrire le contexte de la recherche. Les objectifs et la méthodologie seront présentés dans une deuxième et une troisième parties, avant d'aborder dans une quatrième partie un aspect de la recherche plus en détails, à savoir la caractérisation du risque sismique.

2. Contexte de la recherche

Toutes les régions du globe ne sont pas exposées de façon égale au risque sismique : la plupart des séismes tectoniques se produisent dans les zones de contact entre plaques, même si la sismicité intra-plaques ne peut pas être négligée. L'inégalité face au risque se retrouve aussi en matière de catastrophes technologiques, puisque toutes les agglomérations ne concentrent pas des activités industrielles dangereuses pour les populations et les infrastructures. Qu'en est-il de la région de Mulhouse ?

2.1 Risque sismique

Le contexte tectonique de la région de Mulhouse, à savoir sa localisation dans le fossé Rhénan et à proximité du Jura, est de nature à générer des séismes (BONJER, 1997). D'ailleurs, la région de Mulhouse est caractérisée par une sismicité historique récurrente et importante. Parmi les phénomènes les plus marquants, la crise sismique de

Bâle, en 1356-1357, est certainement la plus exemplaire car elle a engendré des pertes catastrophiques dans le contexte historique de l'époque : pas plus de cent maisons de la ville de Bâle ont résisté aux nombreuses secousses. Or, la distance séparant Bâle et Mulhouse n'est que de quarante kilomètres. L'intensité macrosismique de ce tremblement de terre a été évaluée à IX-X sur une échelle de I à XII (MEGHRAOUI *et al.*, 2001). Un événement sismique d'une telle ampleur conduirait aujourd'hui à des dommages dont le coût est évalué entre dix et trente milliards d'euros (FÄH et DEICHMANN, 2001). Enfin, le site d'étude est caractérisé par une sismicité instrumentale conséquente dont la référence est l'enregistrement du séisme du Sierentz, en 1980 ($M_L = 4,8^1$, sur une échelle ouverte), située à quinze kilomètres de Mulhouse.

2.2 Risque technologique

Les risques d'origine anthropique, propres aux villes industrielles, sont bien identifiés dans l'agglomération mulhousienne, car elle concentre des usines classées Seveso ou à haut risque : usines chimiques, port et gare de marchandises par où transitent des matières dangereuses ; un barrage-retenu sur la commune de Michelbach, à quinze kilomètres de Mulhouse (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement *et al.*, 2002). Le risque technologique se présente sous la forme de sites de production, de stockage et de transport de matières dangereuses ; les risques encourus par la population et les infrastructures peuvent être de type explosion, incendie par inflammation ou dispersion de substances toxiques dans l'eau, l'air, le sol.

2.3 Prise de conscience

On note une prise de conscience croissante de la part de la municipalité en matière de cyndinique. La population semble être aujourd'hui en attente de réponses par rapport au risque technologique, notamment à la suite de récents incidents comme la fuite de produits chimiques à l'usine Rhodia de Chalampé, située à vingt kilomètres de Mulhouse, le 18 décembre 2002. Quant au risque sismique, il déconcerte les populations de la région, comme ça a été le cas lors du récent tremblement de terre de Saint-Dié-des-Vosges, le 22 février 2003 ($M_L = 5,4$)¹.

Ainsi, le contexte de la région de Mulhouse semble particulièrement adapté à une étude des risques sismique et technologiques.

3. Objectifs

Le premier objectif de la recherche engagée consiste à acquérir une meilleure connaissance du risque sismique et des risques technologiques dans l'agglomération mulhousienne et donc à les étudier séparément puis conjointement, à les identifier et à les caractériser, notamment à l'aide d'un système d'information géographique, outil particulièrement bien adapté à ce genre d'étude. Dans le contexte actuel de l'étude, seul l'aspect aléa naturel (à savoir les phénomènes sismiques) à l'origine de catastrophes technologiques est considéré, et non l'inverse. Le but est donc d'évaluer les conséquences probables d'un séisme, par exemple les ruptures de conduites de gaz.

Le second objectif de l'étude consiste à imaginer des scénarios catastrophiques, afin d'évaluer les conséquences d'une catastrophe naturelle ou technologique, et d'évaluer aussi l'évolution des services d'urgence dans une ville entièrement bloquée et paniquée (WINCKELL *et al.*, 2000). Une réflexion sera menée sur la gestion d'une crise de manière à bien dégager l'information pertinente à fournir aux différents services qui interviennent avant et au cours d'une crise : la municipalité, la préfecture, les services d'urgence, etc.

Pour répondre à ces objectifs, l'acquisition d'un certain nombre de données diverses est nécessaire : certaines sont d'ores et déjà disponibles, parce qu'elles sont acquises par l'un des deux laboratoires où est réalisée la recherche présentée ici, à savoir le Laboratoire Image et Ville, qui possède la BD Carto® de l'IGN, et l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg, qui dispose notamment de données sur la sismicité historique et instrumentale. D'autres données sont collectées auprès de diverses collectivités, bureaux d'études, etc. Enfin d'autres données doivent être créées, soit parce qu'elles n'existent pas, soit parce qu'elles ne sont pas assez précises, incomplètes ou non accessibles.

4. Méthodologie

L'étude de l'interaction entre risque sismique et risques technologiques en milieu urbain requiert de caractériser chacun des phénomènes (aléas), c'est-à-dire leur localisation, leur intensité et leur occurrence, ainsi que les éléments qui y sont exposés.

¹ Données du RéNaSS (Réseau National de Surveillance Sismique).

4.1 Caractérisation de l'aléa sismique

La caractérisation de l'aléa sismique nécessite de connaître — parmi les facteurs les plus importants — le contexte tectonique et géologique du site d'étude, la localisation des failles actives, la sismicité historique et la sismicité instrumentale. La sismicité historique est obtenue par l'analyse des archives mentionnant des tremblements de terre. Elle est caractérisée par des valeurs d'intensité macrosismique, déterminées en fonction des dommages engendrés par le(s) séisme(s). La sismicité instrumentale est déduite des réseaux de surveillance permanents.

4.2 Caractérisation de l'événement technologique

Dans le cadre de cette étude, seuls les risques technologiques majeurs (par opposition aux risques technologiques mineurs) sont pris en compte. Par définition, un risque majeur est caractérisé par une occurrence faible et est à l'origine de dommages importants, qu'ils soient humains et/ou matériels. La caractérisation du risque technologique majeur passe non seulement par l'inventaire des sites dits à risques (usines classées Seveso, silos, etc.), mais aussi par l'évaluation de la nature et de l'ampleur des incidents et accidents probables et des conséquences sur le milieu environnant.

4.3 Caractérisation des éléments exposés

La prise en compte des éléments exposés à un risque est primordiale dans l'étude dudit risque, qu'il soit naturel ou technologique. La caractérisation de ces éléments passe avant tout par leur inventaire qui mène à l'élaboration d'une base de données. On peut classer les éléments exposés en distinguant le bâti et les différentes infrastructures, les réseaux et les flux associés, et enfin la population.

Caractériser les éléments exposés permet d'introduire la notion de vulnérabilité qui peut être quantifiée : le bâti et les réseaux peuvent être quantifiés par des coûts, des valeurs vénales (LEONE, 1995). La vulnérabilité d'une population est évaluée par un ensemble de variables qualitatives (D'ERCOLE, 1996). Parmi ces variables, on peut citer les variables de localisation, notamment les différentes distances (affective, euclidienne, géographique...), les variables socio-économiques, comme l'activité professionnelle, l'âge, etc., et la perception du risque. Cette perception est évaluée par l'intermédiaire d'enquêtes afin de comprendre comment la population perçoit le risque. Cette démarche permet d'avoir une idée plus précise de la vulnérabilité de la population. En effet, de nombreuses études ont montré que le degré de connaissance du risque influence la réaction d'un individu en cas de crise.

Les données intégrées dans le SIG sont considérées en trois dimensions, puisque les réseaux souterrains sont pris en compte. La dimension temporelle est aussi intégrée par l'intermédiaire de données sur le rythme nyctéméral des populations.

5. Caractérisation du risque sismique

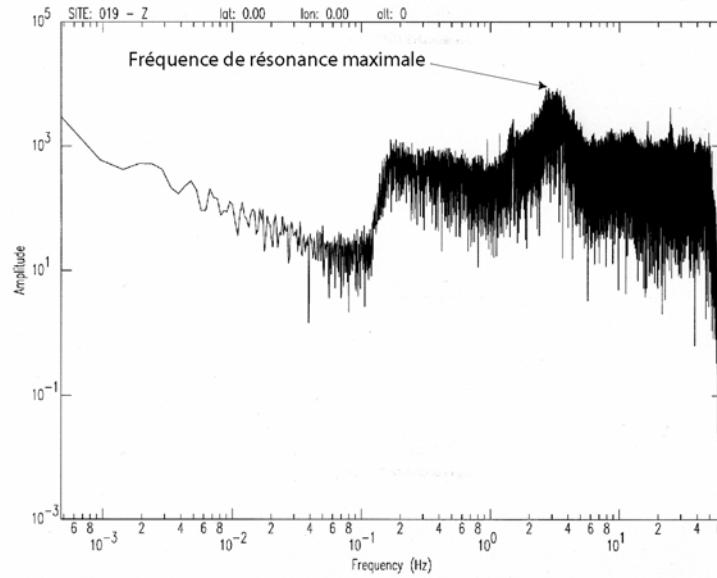
Dans cette dernière partie, un aspect de la recherche engagée est abordé plus en détails : la caractérisation de l'aléa puis du risque sismique, à travers la détermination des effets de site pour aboutir à des cartes d'ébranlement.

5.1 Effets de site

La caractérisation de l'aléa sismique suppose de connaître, outre les paramètres cités précédemment, une autre variable appelée "effets de site", qui correspond aux effets d'amplification des ondes sismiques dus aux propriétés géométriques et géomécaniques du sol. Les séismes de Lambesc (Provence, France) en 1909, de San Francisco (États-Unis) en 1906 illustrent bien le lien étroit entre les intensités observées et, respectivement, la topographie et la géologie de surface (MADARIAGA et PERRIER, 1991). Étant donné que les ondes sismiques peuvent être amplifiées localement par un facteur allant jusqu'à dix, il est primordial d'identifier ces effets de site. Pour cela, il existe plusieurs méthodes (AKYOL *et al.*, 2002 ; RIEPL, 1997). L'une d'entre elles, appelée méthode de *Nakamura*, consiste à procéder à des mesures de bruit sismique (OJEDA et ESCALLON, 2000). Elle est fondée sur l'existence d'un bruit microsismique permanent. L'avantage de cette méthode est d'être adaptée à la mesure des effets de site dans des zones de sismicité faible à moyenne comme celle de Mulhouse. Par opposition, d'autres méthodes comme celle des rapports spectraux classiques se basent sur des enregistrements de séismes de magnitude supérieure à 3 (RIEPL, 1997).

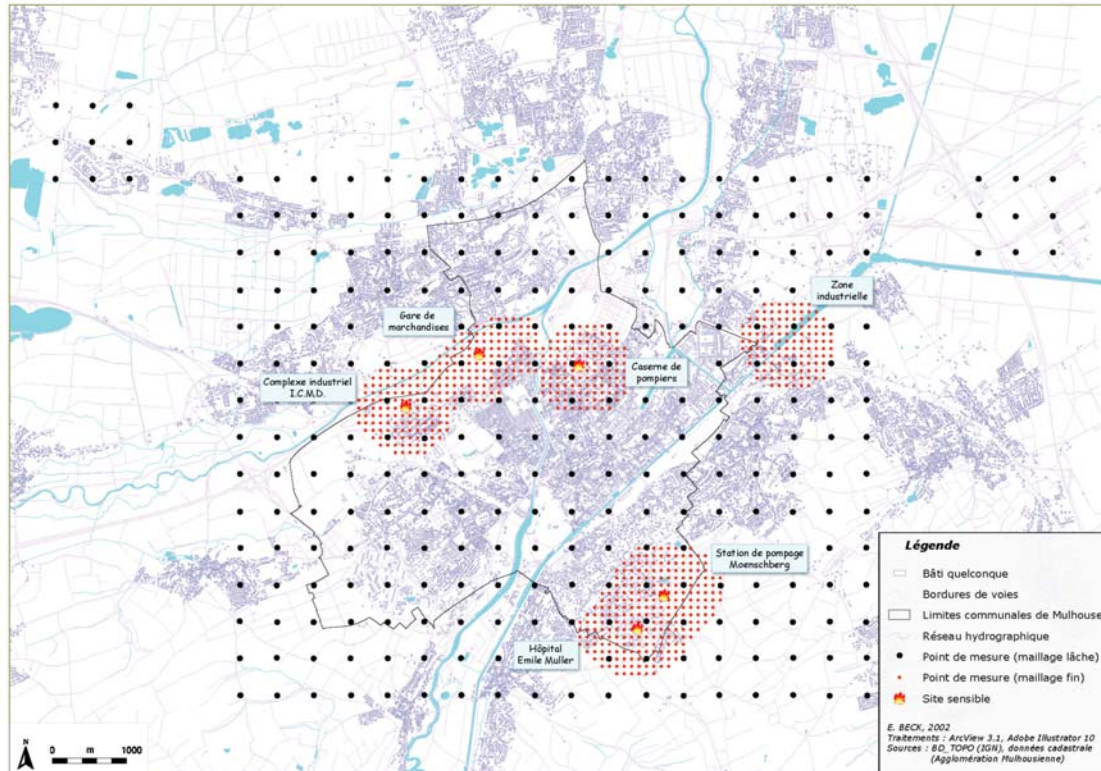
En enregistrant le bruit microsismique sur un site bien précis, on peut déterminer les fréquences de résonance propres à ce site (*figure 2*). Ces mesures permettent d'estimer et de modéliser les variations spatiales des effets de site.

Figure 2 : Spectre d'amplitude de la composante verticale d'une mesure de bruit sismique réalisée à Mulhouse en octobre 2002, à l'aide d'un sismomètre 20 s.



Nous avons choisi de réaliser un microzonage sismique en effectuant des mesures de bruit suivant deux maillages : tous les 500 m sur l'ensemble de la zone étudiée, puis tous les 100 m dans des zones "sensibles", c'est-à-dire caractérisées soit, par une forte vulnérabilité due à une concentration de population plus ou moins fragile soit, par la présence d'usines à risques ou encore par la présence de services d'urgence comme une caserne de pompiers (figure 3).

Figure 3 : Maillages prévisionnels du microzonage sismique



Au total, un millier de mesures vont être réalisées dans l'agglomération mulhousienne. Une fois ces mesures effectuées, la méthode de Nakamura consiste à faire des calculs de type h/v , c'est à dire à diviser les spectres des

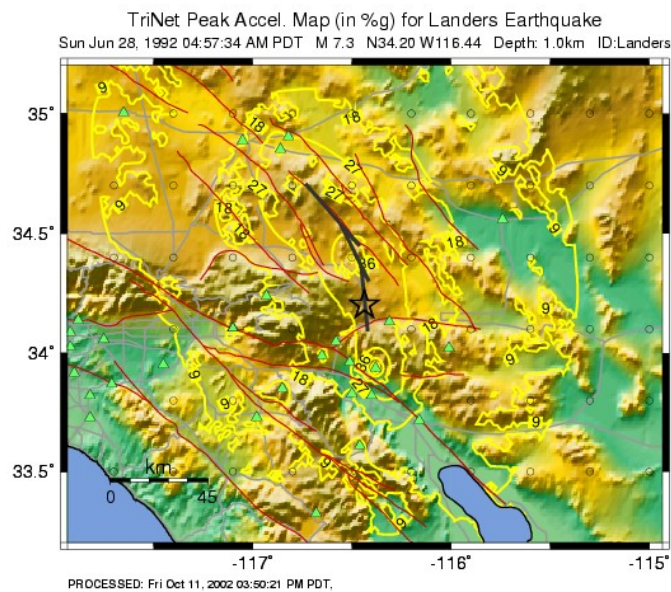
composantes horizontales (nord-sud et est-ouest) par celui de la composante verticale. Du point de vue de l'interprétation cartographique de ces données ponctuelles, toute la difficulté est de restituer une information spatialement continue étant donné la grande variabilité spatiale des caractéristiques géomécaniques et géométriques du sous-sol, et l'absence de lois d'atténuation.

5.2 Carte d'ébranlement

La connaissance de ces effets de site et des autres paramètres de l'aléa sismique peut aboutir à une application pratique, à savoir l'identification des zones de l'agglomération où les effets d'un séisme auront le plus fort impact. Ces documents peuvent servir de base à l'élaboration de cartes d'ébranlement du sol ou "shakemaps" (figure 4), en cas d'événement sismique majeur (WALD *et al.*, 1999). En effet, pour caractériser un séisme et notamment son potentiel à être destructeur, l'accélération maximale des ondes, et non leur vitesse, est le paramètre le plus important (MADARIAGA et PERRIER, 1991). C'est d'ailleurs cette accélération qui est prise en compte par les ingénieurs dans les normes parasismiques. Une carte d'ébranlement du sol permet d'estimer la localisation des zones où l'accélération du sol serait la plus forte au cours d'un séisme et de prévoir la localisation des dommages associés. Il s'agit donc d'un outil permettant une réaction rapide, efficace et ciblée des autorités et des services d'urgence. Dans ce contexte, la carte d'ébranlement représente un véritable atout dans la gestion de la crise succédant à une catastrophe telle qu'un tremblement de terre.

Figure 4 : Exemple de carte d'ébranlement produite par l'United States Geological Survey : accélération du sol produite par le séisme de Landers, le 28 juin 1992 (M = 7,3)

Les isolignes représentent l'accélération maximale, les traits rouges continus correspondent aux failles (Earthquake Hazards Program – Southern California)



6. Conclusion

L'identification, l'analyse et le croisement des risques sismique et technologiques en milieu urbain permettront de progresser dans la compréhension des relations qui lient ces deux catégories de phénomènes, et fournira des bases intéressantes en matière de gestion du risque. Une meilleure connaissance du risque par l'intermédiaire des cartes issues de cette recherche — notamment la carte d'ébranlement du sol — doit conduire à une meilleure gestion des situations de crise ainsi qu'à une meilleure prévention, notamment à travers une information du public complète et objective.

La recherche présentée ici s'inscrit dans une thématique d'actualité, à savoir l'étude des risques. Elle est originale dans la mesure où elle aborde le sujet en croisant deux catégories de phénomènes, à savoir le risque sismique et les risques technologiques. En outre, en intégrant le concept de vulnérabilité appliqué au milieu urbain, elle va donc plus loin que la simple étude des phénomènes.

Cette recherche offre par ailleurs des perspectives intéressantes de par son caractère pluridisciplinaire : elle permet d'associer les sciences de la terre et en particulier la sismologie aux sciences géographiques dans leur

ensemble, (notamment les méthodes et techniques de visualisation et d'analyse spatiale) et les sciences cognitives, plus particulièrement appliquées à l'étude des risques technologiques. Cette pluridisciplinarité permet de confronter des concepts et des approches théoriques et techniques qui peuvent sembler très différents au départ mais qui finalement se trouvent être complémentaires dans l'étude des risques.

Remerciements : La Communauté d'Agglomération Mulhouse et Sud Alsace, la Région Alsace, Sandrine Glatron (laboratoire Image et Ville, Strasbourg), le RéNaSS (Réseau National de Surveillance Sismique).

BIBLIOGRAPHIE

- AKYOL N., AYBIGE A., EYIDOĞAN H. (2002), Site amplification of S-waves in Bursa City and its vicinity, Northwestern Turkey : comparison of different approaches, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 22, pp. 579-587.
- BONJER, K.-P. (1997), Seismicity pattern and style of seismic faulting at the eastern border fault of the southern Rhine Graben, *Tectonophysics*, vol. 275, pp. 41-69.
- CUTTER S. (1993), *Living with risk – The geography of technological hazards*. Ed. Edward Arnold, London, 214 p.
- D'ERCOLE R. (1996), Représentations cartographiques des facteurs de vulnérabilité des populations exposées à une menace volcanique. Application à la région du volcan Cotopaxi (Equateur), *Bull. Inst. Etudes andines*, vol. 25, n°3, pp. 479-507.
- FÄH D., DEICHMANN N. (1997), *Le prochain tremblement de terre ne doit pas nous surprendre*. Article de presse préparé par le Service Sismologique Suisse, 9 p.
- LEONE F. (1995), *Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain*, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, 274 p.
- MADARIAGA R., PERRIER G. (1991), *Les tremblements de terre*, Presses du CNRS, 210 p.
- MEGHRAOUI M., DELOUIS B., FERRY M., GIARDINI D., HUGGENBERGER P., SPOTTKI I., GRANET M. (2001), Active normal faulting in the Upper Rhine Graben and Paleoseismic Identification of the 1356 Basel Earthquake, *Science*, vol. 293, pp. 2070-2073.
- Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Préfecture du Haut-Rhin, Mairie de Mulhouse (2002), *Dossier Communal Synthétique – Ville de Mulhouse*, 32 p.
- OJEDA A., ESCALLON J. (2000), Comparison between different techniques for evaluation of predominant periods using strong ground motion records and microtremors in Pereira Colombia, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 20, pp. 137-143
- RIEPL J. (1997), *Effets de site : évaluation expérimentale et modélisations multidimensionnelles : application au site test EURO-SEISTEST (Grèce)*, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, 227 p.
- WALD D. J., QUINTORIANO V., HEATON T. H., KANAMORI H., SCRIVNER C. W., WORDEN B. C. (1999), TriNet "ShakeMaps" : Rapid generation of instrumental ground motion and intensity maps for earthquakes in southern California, *Earthquake Spectra*, vol. 15, n°3, pp. 537-556
- WINCKELL A., LE PAGE M., VELAZCO G. C., GONZALEZ R. V., SOTOMAYOR R. C., VELAZQUEZ C. G. (2000), *¿Y si un terremoto de magnitud 6.5 se produjera en la falla de La Nación? Aportes para un escenario sísmico en Tijuana*, El Colegio de la Frontera Norte – Institut de Recherche pour le Développement, 74 p.