

# APPROCHE MULTI-RISQUE EN MILIEU URBAIN

## Application à l'agglomération de Mulhouse (Haut-Rhin)

par *Élise Beck*

*Maître de conférences*

*Laboratoire Territoires - UMR PACTE 5194 CNRS*

*Institut de géographie Alpine, Université Joseph Fourier - Grenoble 1*

*14 bis avenue Marie Reynoard 38100 Grenoble*

*E-mail : elise.beck@ujf-grenoble.fr*

---

*Dans le cadre de cette thèse, nous développons une approche intégrée (prenant en compte aléa et vulnérabilité des éléments exposés) multi-risque en milieu urbain, appliquée aux risques sismiques et technologiques dans l'agglomération de Mulhouse (Haut-Rhin). La méthodologie s'articule en deux phases. Une première consiste à évaluer, à l'échelle de l'agglomération, les aléas, les vulnérabilités et les risques. Cela implique d'estimer les effets de site à l'échelle infra-communale et de caractériser l'aléa technologique en tenant compte d'un effet cumulatif des scénarios d'accidents, puis d'évaluer la vulnérabilité physique et fonctionnelle des bâtiments d'une part, la vulnérabilité de la population d'autre part. Une seconde phase consiste à simuler un séisme important ( $M_W = 6.0$ ) afin d'analyser les interactions potentielles entre risques. L'ensemble des données est intégré dans un système d'information géographique, qui constitue un outil de représentation, de mise en relation et d'aide à la décision à destination des scientifiques et des autorités en charge de la prévention des risques par l'aménagement urbain et la gestion de la crise. Les résultats montrent 1) la présence d'effets de site sur la totalité de la région étudiée ; 2) des accélérations atteignant 0.25 g dans l'agglomération mulhousienne dans le cas d'un séisme  $M_W = 6.0$ , calculées à partir d'une loi d'atténuation standard sur la faille d'Illfurth ; 3) un aléa technologique concernant la moitié de la surface de la région étudiée ; 4) une faible représentation cognitive des risques par la population ; 5) des interactions potentielles entre risques sismiques et technologiques sur l'un des sites industriels sensibles (Rhodia-Dornach), mais dont les effets ne dépasseraient pas l'emprise du site ; 6) de nombreuses interactions potentielles entre risques technologiques dans les deux secteurs étudiés (un total de 104 interactions issues des 31 scénarios).*

### 1 Étude multi-risque en milieu urbain

Les risques font l'objet d'études depuis de nombreuses années. Pendant longtemps, ils ont été considérés sous l'angle du phénomène dangereux, l'aléa, et ce n'est qu'après quelques décennies que des chercheurs se sont davantage interrogés sur les éléments exposés. Si l'on considère le risque comme le résultat de la combinaison entre un aléa et des éléments vulnérables, il est important de l'aborder dans une démarche intégrée prenant en compte ces deux composantes. Malgré la multiplicité des études sur les risques, peu d'entre elles adoptent une démarche multi-risque. Pourtant, il est nécessaire de prendre en compte les risques dans une démarche globale, si l'on souhaite s'approcher de la réalité, tant

les possibilités d'effets dominos sont possibles.

L'objectif de cette thèse est l'étude des interactions entre deux risques majeurs, l'un naturel (sismique), l'autre d'origine anthropique (technologique), en milieu urbain et à l'échelle d'une agglomération, en prenant Mulhouse -Haut-Rhin- comme exemple. Afin de répondre à cette problématique, plusieurs objectifs ont été définis :

- Le premier consiste à acquérir une meilleure connaissance des risques sismiques et technologiques dans l'agglomération, indépendamment les uns des autres dans un premier temps. Évaluer les risques revient à identifier les différentes composantes du risque, à savoir les aléas et les vulnérabilités des éléments exposés.

- Le deuxième objectif est d'illustrer notre démonstration par une simulation, permettant d'identifier, de localiser, de visualiser les interactions entre risques.

- Le dernier objectif consiste à élaborer un outil d'aide à la décision par l'intermédiaire d'un outil performant en analyse spatiale des territoires, le système d'information géographique (SIG). Le SIG a pour vocation de fournir aux autorités en charge de la gestion des risques des informations sur les aléas, les éléments exposés, les interactions entre les risques, et de les soutenir dans leur prise de décision en matière de prévention par l'aménagement, la préparation de la gestion de la crise et/ou l'information à la population.

## **2 Démarche pluridisciplinaire d'étude des interactions entre risques sismiques et technologiques**

### **2.1 Risque sismique**

L'évaluation du risque sismique passe, d'une part, par l'analyse de la sismicité historique et instrumentale ainsi que du contexte tectonique, d'autre part par l'évaluation des effets de site, desquels dépend la variabilité spatiale des conséquences d'un séisme. Les effets de site sont les effets d'amplification des ondes sismiques dus aux propriétés géomécaniques et géométriques du sous-sol. Dans le cadre de ce travail, nous avons procédé à leur évaluation par l'intermédiaire de deux méthodes : celle de Nakamura (1989) et celle dite des « fonctions récepteurs » (Lermo et Chavez-Garcia 1993). La première consiste à enregistrer le bruit sismique ambiant et de calculer des rapports spectraux entre la composante horizontale du signal enregistré et la composante verticale. De l'interprétation de ces rapports peuvent être déduits les paramètres des effets de site, à savoir la fréquence fondamentale à laquelle le site est susceptible d'entrer en résonance et le facteur d'amplification des ondes à cette fréquence. Des mesures ont été effectuées selon deux maillages, tous les 500 m sur la totalité de la zone d'étude et tous les 100 à 200 m autour de sites plus sensibles. La seconde méthode des fonctions récepteurs consiste à procéder à des calculs similaires, exception faite de la nature des signaux qui correspondent à des enregistrements de séismes. Dans ce cadre, nous avons mis en place un réseau temporaire de stations sismiques durant deux mois.

Une fois les effets de site estimés, le scénario sismique peut être envisagé. Les effets d'un séisme

sont simulés en tenant compte de lois d'atténuation empiriques et des effets de site préalablement estimés. Le choix du scénario est basé sur une étude déterministe de l'aléa sismique, qui fixe le séisme maximum historique prévisible en termes d'intensité ou de magnitude ( $M=6.0$  dans notre cas).

### **2.2 Aléa technologique**

Concernant l'aléa technologique, nous avons basé ce travail sur les informations fournies par les études de danger, à savoir les scénarios d'accidents potentiels, dont l'extension spatiale des effets redoutés (thermiques, toxiques, de surpression) est représentée par une « enveloppe » de rayon donné. L'objectif était de pouvoir représenter « l'exposition cumulée » due à la superposition de plusieurs enveloppes (Propeck-Zimmermann et al. 2002). Le cumul a été pris en compte quantitativement, en comptant le nombre d'enveloppes superposées, et qualitativement, afin d'identifier les combinaisons d'effets auxquels les populations et bâtiments étaient exposés.

### **2.3 Vulnérabilité du bâti et de la population**

La vulnérabilité du bâti a été abordée sous deux aspects : physique et fonctionnelle. Seule la vulnérabilité physique du bâtiment vis-à-vis d'un séisme a été prise en compte, puisqu'elle correspond au point initiateur pour déterminer les réactions en chaîne potentielles suite à un séisme. Nous avons choisi de caractériser le bâti selon son potentiel à entrer en résonance au cours d'un tremblement de terre, sachant que ce potentiel est maximal si sa fréquence fondamentale correspond à la fréquence fondamentale du site (effets de site). La fréquence fondamentale du bâti a été estimée à partir de différents facteurs (hauteur, type de bâti). La vulnérabilité fonctionnelle d'un bâtiment prend en compte la sensibilité de son utilisation et de la population qu'il accueille. Dans notre cas, nous avons retenu les critères suivants : la capacité d'accueil importante (établissements recevant du public ou de densité de population élevée), où la population accueillie est sensible car peu mobile (établissements d'enseignement primaire, hôpitaux...), dont le rôle dans la gestion d'une crise est primordial (services de secours, instances dirigeantes, sécurité civile...), ou encore la capacité d'accueil suffisamment importante pour pouvoir héberger une population sinistrée (stades, gymnases, lieux de culte...).

Deux critères ont été retenus pour décrire la vulnérabilité de la population : la densité et la vulnérabilité sociale. Afin d'appréhender la densité d'habitants avec une vision plus réaliste, nous avons procédé à

une désagrégation de la population en ramenant les données de recensement à l'espace bâti (Weber 1995). Puis, la vulnérabilité sociale des habitants et des actifs a été estimée par la mise en place d'un indice de vulnérabilité basé sur la représentation cognitive des risques, la connaissance des risques et des mesures de sécurité, et sur des facteurs techniques et socio-démographiques (âge, CSP, distance à une industrie dangereuse...), à partir d'une enquête de perception effectuée auprès de 491 individus.

## 2.4 Intégration des données dans le SIG

Enfin, l'ensemble des données hétérogènes, multi-sources et multi-échelles, ont été intégrées et structurées dans le SIG. Les analyses de risque, réalisées à partir de la combinaison entre aléa et vulnérabilité, ont permis de dégager les secteurs de risque élevé car cumulant une vulnérabilité et un aléa importants. L'analyse du scénario a permis également d'identifier les potentielles réactions en chaîne faisant suite à un tremblement de terre.

# 3 Connaître pour mieux gérer : application à l'agglomération de Mulhouse

## 3.1 Mulhouse, ville multi-risque

L'étude présentée ici est appliquée à l'agglomération de Mulhouse (Haut-Rhin), que l'on peut qualifier de « multi-risque », car exposée à six aléas différents : séismes, inondations, coulées de boue, rupture d'un barrage, transport de matières dangereuses et industries classées Seveso. Concernant le risque sismique, les communes de l'agglomération sont situées en zone Ib et II du zonage sismique français actuellement en vigueur (sismicité faible à moyenne). En 1356, un tremblement de terre d'une intensité de IX-X a fortement endommagé la région de Bâle, localisée à 40 km au sud de Mulhouse, et notre région est régulièrement touchée par des séismes. Par ailleurs, quatre sites localisés dans l'agglomération font l'objet d'un plan particulier d'intervention (PPI) : trois installations classées « Seveso seuil haut » et une gare de marchandises où sont stockées et par laquelle transitent des matières dangereuses et dont le PPI inclut Mulhouse et partiellement jusqu'à douze communes avoisinantes. Mulhouse est également une ville « vulnérable », puisque l'agglomération compte au total près de 200 000 habitants d'après le recensement de 1999. Elle accueille de nombreuses activités industrielles, économiques et culturelles. Sa vulnérabilité est accrue par sa situation, enserrée entre voies ferrées, autoroutes et canaux, qui limitent son extension urbaine, mais peuvent également aggraver une

éventuelle crise due à une catastrophe naturelle ou d'origine anthropique.

## 3.2 Résultats

Concernant le risque sismique, l'étude des effets de site révèle un gradient de fréquences du nord-ouest (0.8-1.5 Hz) vers le sud-est (4-8 Hz) (fig. 1). Par ailleurs, les valeurs d'amplification issues du traitement des enregistrements de séismes sont quasiment égales à celles issues de la méthode de Nakamura pour 40 % d'entre elles. Nous avons également mis en évidence la stabilité temporelle des rapports spectraux de bruit en fréquence et en amplification. Une partition de la région étudiée aboutit à la création de quatre zones homogènes d'effets de site. La principale difficulté de cette étape réside dans l'intégration des effets de site dans la simulation du séisme.

Nous avons simulé deux séismes, l'un sur la faille d'Illfurth, pour prendre en compte un scénario pénalisant pour la ville de Mulhouse, l'autre sur la faille d'Allschwil, localisée à proximité de Bâle. Dans le cas du premier scénario, les accélérations atteignent des valeurs comprises entre 0.11 et 0.25 g dans la zone d'étude, contre 0.06 à 0.11 g dans le cas du second scénario. Cependant, ces valeurs ne tiennent pas compte de l'amplification potentielle des ondes à la fréquence fondamentale du site.

L'aléa technologique est très logiquement maximal à proximité des sites dangereux : on observe jusqu'à 14 enveloppes superposées à l'intérieur des sites dangereux ; il reste cependant six enveloppes superposées hors-sites (fig. 2). Si l'on observe uniquement l'exposition non cumulée, quasiment la moitié de l'agglomération est concernée par un accident potentiel, en raison de l'étendue du PPI autour de la gare du Nord (rayon de 4 km autour de l'emprise ferroviaire).

Les vulnérabilités, fonctionnelle et totale, sont maximales dans la région de Mulhouse, qui concentre la plus grande partie de la population, des ERP et des activités économiques. Les densités de population les plus élevées sont rencontrées dans les centres des différentes communes et dans certains quartiers populaires (fig. 3). La population semble peu consciente des dangers auxquels elle est exposée, bien qu'elle ait connaissance des aléas locaux. Une enquête menée auprès d'un échantillon de près de 500 personnes a permis de constater la méconnaissance des consignes de sécurité à suivre en cas de catastrophe. La cartographie de l'indice de vulnérabilité face à l'aléa industriel montre une corrélation entre la distance à la source de danger (sous-

entendu la localisation à l'intérieur ou à l'extérieur d'un PPI) et la représentation cognitive de cet aléa. En effet, d'après cette carte, les personnes dont le lieu d'habitation ou de travail est localisé à l'intérieur d'un PPI sont plus vulnérables du fait qu'elles sous-estiment cet aléa. Cette logique spatiale n'est pas observée lorsqu'on cartographie l'indice de vulnérabilité face aux séismes. Ces résultats posent la question de l'efficacité des campagnes d'information autour des sites industriels dangereux.

Des interactions potentielles entre risques sismiques et technologiques sont observées sur l'un des sites industriels, en raison de la vulnérabilité physique élevée de trois bâtiments correspondant à des points sources d'accidents technologiques. Parmi ces trois points sources, l'un des bâtiments est connu pour être construit aux normes parasismiques. Les deux autres bâtiments correspondent aux points sources de quatre scénarios différents, dont les effets ne dépasseraient pas l'emprise du site industriel en question. Ces résultats doivent cependant être validés par une étude plus poussée de la fréquence de résonance des bâtiments.

Les résultats de cette étude pourront, à terme, être intégrés dans le plan local d'urbanisme des différentes communes ou dans le schéma d'aménagement régional, de manière à tenir compte des risques et de leurs interactions potentielles. Cela se traduit, par exemple, par la prise en compte des effets de site (fréquence fondamentale du sol et amplification) dans la construction en modifiant la

structure d'un bâtiment. Les interactions potentielles entre risques, identifiées dans le cadre de cette recherche, pourront être intégrées au plan communal de gestion d'une catastrophe (MOCAMU). Cependant, toute intégration de ces résultats à des fins gestionnaires doit être l'objet d'une certaine précaution par rapport aux hypothèses fortes et aux simplifications sur lesquelles ils reposent. Enfin, les résultats des enquêtes pourront également être pris en compte dans la mise en place des campagnes d'information sur les risques.

## 4 Conclusion - perspectives

La mise en regard de plusieurs risques dans une approche globale est à généraliser car elle permet d'avoir une vision plus réaliste du déroulement d'une catastrophe, en prenant en compte les potentielles réactions en chaîne. Cette étude pluridisciplinaire a également permis d'acquérir une meilleure connaissance des risques et de leurs interactions dans la région de Mulhouse et de proposer aux autorités locales un outil d'aide à la décision performant.

Plusieurs perspectives de travail peuvent être proposées : 1) la possibilité d'intégrer d'autres risques, comme les inondations, les coulées de boue, le transport de matières dangereuses ; 2) une réflexion sur la représentation cartographique des résultats issus de l'enquête ; 3) une nouvelle campagne de mesures de bruit et de séismes, afin d'affiner la carte des fréquences fondamentales et celle des amplifications.

## Bibliographie

**Lermo J. et Chavez-Garcia F.**, 1993, « Site effects evaluation using spectral ratios with only one station », *Bull. Seism. Soc. Am.*, vol. 83, n°5, p.1574-1594.

**Nakamura Y.**, 1989, « A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface », *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI)*, vol. 30, n°1, p.25-33.

**Propeck-Zimmermann É., Ravenel L. et Saint-Gerand T.**, 2002, « Cartographie des risques technologiques majeurs : nouvelles perspectives avec les SIG », *Mappemonde*, n°65, p.17-21.

**Weber C.**, 1995, *De la banque de données urbaines au système d'information géographique urbain*, Anthropos, coll. Villes, p.15-29.

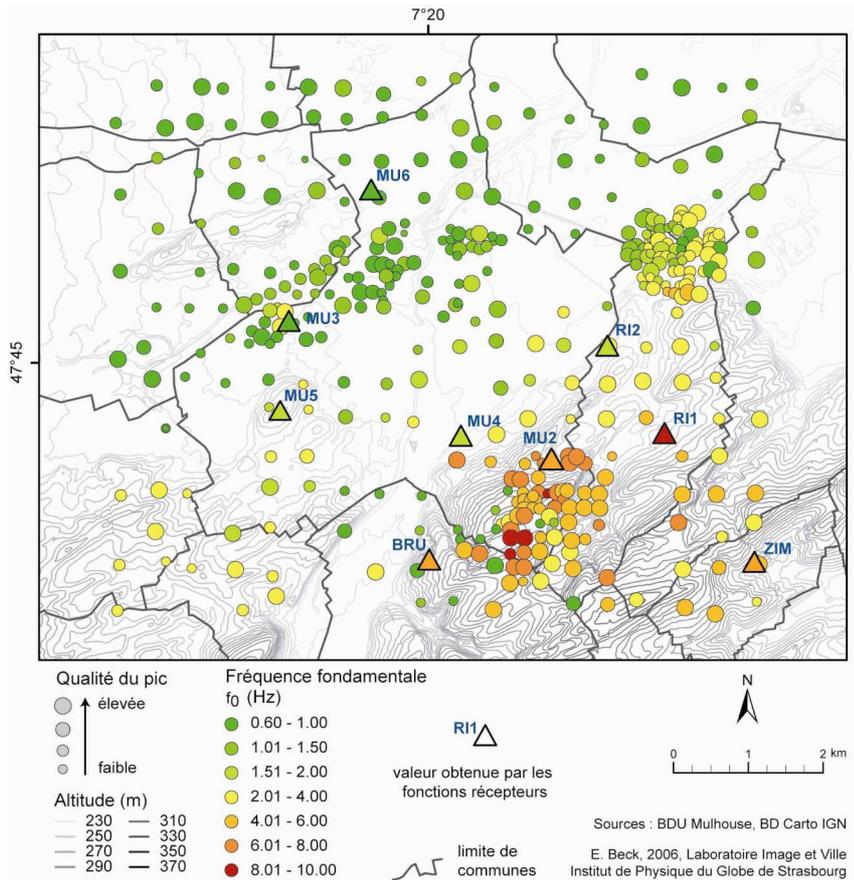


Figure 1 : Effets de site dans l'agglomération Mulhousienne (fréquence fondamentale)

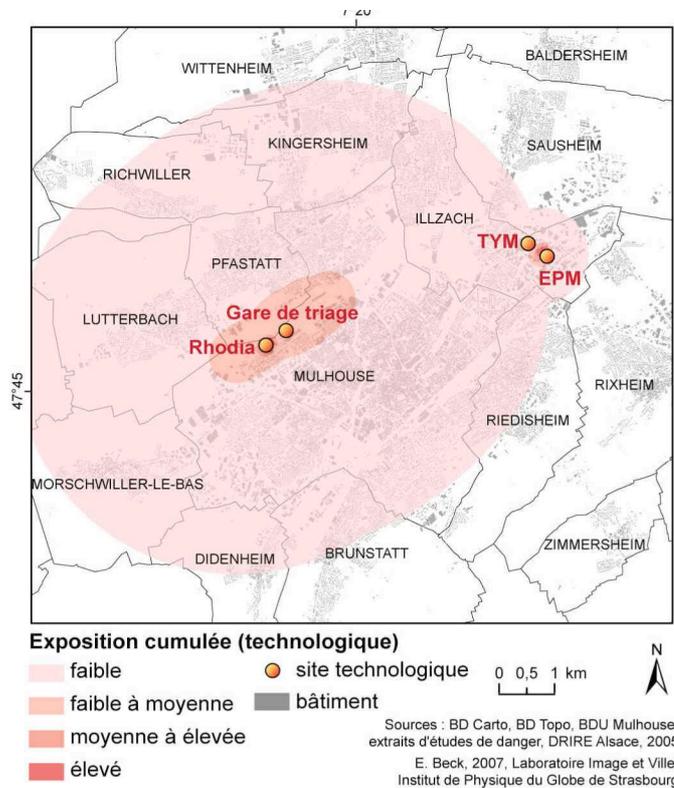


Figure 2 : « exposition cumulée » dans l'agglomération mulhousienne

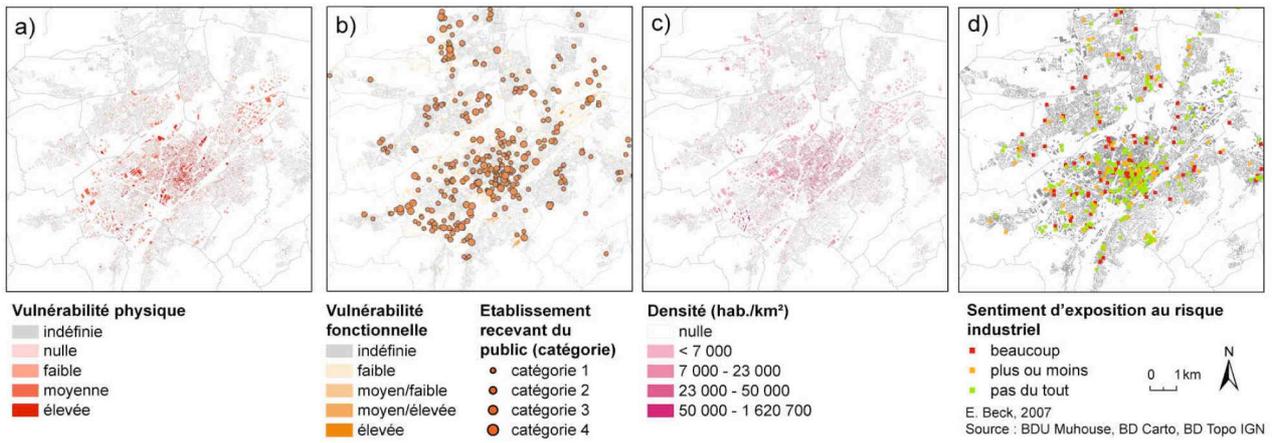


Figure 3 : cartes de vulnérabilité : (a) physique, (b) fonctionnelle, (c) humaine et (d) liée aux représentations cognitives des risques