

**Document public**

# **Méthodologie de réalisation d'un scénario de séisme sur la ville de Mulhouse (68)**

**BRGM/RP-52760-FR**  
janvier 2004

**SAFE**  
Seismic Action Framework in Europe



5<sup>ème</sup> PCRD



Commission Européenne  
DG Recherche

**Document public**

# **Méthodologie de réalisation d'un scénario de séisme sur la ville de Mulhouse (68)**

Etude réalisée dans le cadre des opérations  
de service public du BRGM

**N. Marçot  
C. Arnal**

**Mots clés :** Séisme, aléa, vulnérabilité, enjeux, scénario, effets de site, dommages, bâtiments, préjudices humains, Mulhouse.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

N. Marçot, C. Arnal (2004) – Méthodologie de réalisation d'un scénario de séisme sur la ville de Mulhouse (68). Rapport BRGM RP52760

© BRGM, 2004, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## **Synthèse**

Dans le cadre du projet SAFE, ce rapport présente la méthode utilisée pour l'évaluation des conséquences d'un événement sismique sous la ville de Mulhouse, ainsi que les résultats obtenus.

A partir du cas de base que représente un événement sismique sous la ville de Mulhouse de magnitude 5.3, les méthodes et les résultats de calcul des paramètres physiques du séisme sont présentés, ainsi que les méthodes et les résultats d'évaluation des dommages au bâti et des préjudices humains.

Les résultats des calculs concluent à une intensité pouvant atteindre jusqu'à VIII-IX dans l'échelle EMS-98 (en prenant en compte les effets de site), sur des zones très limitées, principalement au sud-ouest de la ville.

Pour l'évaluation des dommages au bâti, quatre types de bâtiments sont définis. L'évaluation de leur vulnérabilité est basée sur les données de l'« European Macroseismic Scale 1998 » qui permettent d'évaluer le niveau d'endommagement. Une trentaine de bâtiments au maximum serait susceptible d'effondrement, plusieurs milliers seraient endommagés de façon importante.

Les préjudices humains ont été évalués à partir de données statistiques basées sur une corrélation entre le niveau de dommage des bâtiments et les préjudices humains. Il pourrait y avoir jusqu'à 70 morts et/ou blessés graves, entre 30 et 160 blessés légers et 1 000 à 7 000 sans abris.

La précision des résultats a été étudiée, en réalisant des tests de sensibilité sur les principaux paramètres : événement sismique et vulnérabilité du bâti.



## Sommaire

<b>1. PRÉSENTATION .....</b>	<b>7</b>
<b>2. MÉTHODOLOGIE.....</b>	<b>9</b>
<b>3. PHÉNOMÈNE ET ALÉA.....</b>	<b>11</b>
3.1. L'ALÉA RÉGIONAL .....	11
3.2. L'ALÉA LOCAL.....	12
3.2.1. <i>Les zones à effets de site</i> .....	12
3.2.2. <i>Les phénomènes de liquéfaction et de mouvements de terrain</i> .....	13
<b>4. ANALYSE DES ÉLÉMENTS EXPOSÉS ET DE LEUR VULNÉRABILITÉ.....</b>	<b>15</b>
4.1. LES ÉLÉMENTS EXPOSÉS .....	15
4.1.1. <i>Les enjeux économiques</i> .....	15
4.1.2. <i>Les enjeux sociaux</i> .....	15
4.1.3. <i>Les enjeux environnementaux</i> .....	16
4.2. ÉVALUATION SIMPLIFIÉE DE LA VULNÉRABILITÉ DES HABITATIONS ET DES FONCTIONS.....	19
4.2.1. <i>Les habitations, typologie et vulnérabilité</i> .....	19
4.2.2. <i>Typologie des habitations</i> .....	19
4.2.3. <i>Vulnérabilité selon les EMS 98</i> .....	23
Principes généraux.....	23
Application à la ville de Mulhouse.....	24
4.2.4. <i>Vulnérabilité fonctionnelle</i> .....	27
<b>5. RÉALISATION DU SCÉNARIO .....</b>	<b>29</b>
5.1. CHOIX D'UN ÉVÉNEMENT .....	29
5.2. CALCUL DES PARAMÈTRES PHYSIQUES .....	32
5.2.1. <i>Calcul du pic d'accélération du sol au rocher (PGA : "Pic ground acceleration")</i> .....	32
Loi d'atténuation .....	32
Résultats .....	33
5.2.2. <i>Evaluation des intensités</i> .....	35
5.2.3. <i>Prise en compte des effets de site</i> .....	38
Evaluation des effets de site lithologiques .....	38
Représentation Cartographique.....	38
5.3. ÉVALUATION DES DOMMAGES AU BÂTI.....	41
5.3.1. <i>Définition des niveaux de dommages</i> .....	41
5.3.2. <i>Evaluation des dommages</i> .....	45
Matrices de calcul.....	46
Résultats des simulations .....	47
Incertitudes d'évaluation des dommages aux bâtiments .....	52

5.4. CALCUL DU NOMBRE DE MORTS ET DE BLESSÉS DANS LES BÂTIMENTS .....	55
5.4.1. <i>Méthodologie</i> .....	55
5.4.2. <i>Données disponibles</i> .....	55
5.4.3. <i>Répartition de la population par type de bâti</i> .....	57
Répartition de la population de nuit .....	57
Calcul de la répartition .....	57
Incertitudes sur l'attribution de la population a un type de bâti .....	59
Répartition de la population de jour .....	60
5.4.4. <i>Nombre de personnes par niveau de dommages dans les bâtiments</i> .....	61
Calcul du nombre de personnes .....	61
De Nuit .....	61
De jour .....	61
Incertitudes sur les données présentées .....	61
5.4.5. <i>Calcul du nombre de morts et de blessés</i> .....	62
Méthode de calcul .....	62
Incertitudes sur les grilles proposées.....	64
5.5. DYSFONCTIONNEMENTS ENVISAGEABLES.....	65
<b>6. SENSIBILITÉ DES RÉSULTATS À LA MAGNITUDE DU SÉISME ET PERTINENCE DES RÉSULTATS.....</b>	<b>66</b>
6.1. SENSIBILITÉ DES RÉSULTATS À LA MAGNITUDE .....	66
6.2. ANALYSE CRITIQUE DE LA PERTINENCE DES RÉSULTATS.....	68
6.2.1. <i>Les paramètres</i> .....	68
6.2.2. <i>Les données</i> .....	69
6.2.3. <i>Conclusions</i> .....	69
<b>LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>71</b>
<b>LISTE DES ILLUSTRATIONS .....</b>	<b>71</b>

## **1. Présentation**

Dans le cadre du projet SAFE, ce rapport présente la méthode utilisée pour l'évaluation des conséquences immédiates d'un événement sismique, ainsi que les résultats obtenus.

Il a pour objectif la réalisation d'un scénario, c'est à dire l'évaluation des dommages physiques et des préjudices humains qui pourraient être observés dans le cas d'un événement sismique sous la ville de Mulhouse.

Ces évaluations sont réalisées dans le contexte sismo-tectonique historique de la région de Mulhouse.

Autour de ce cas, des variantes ont été étudiées. Elles sont présentées comme tests de sensibilité.

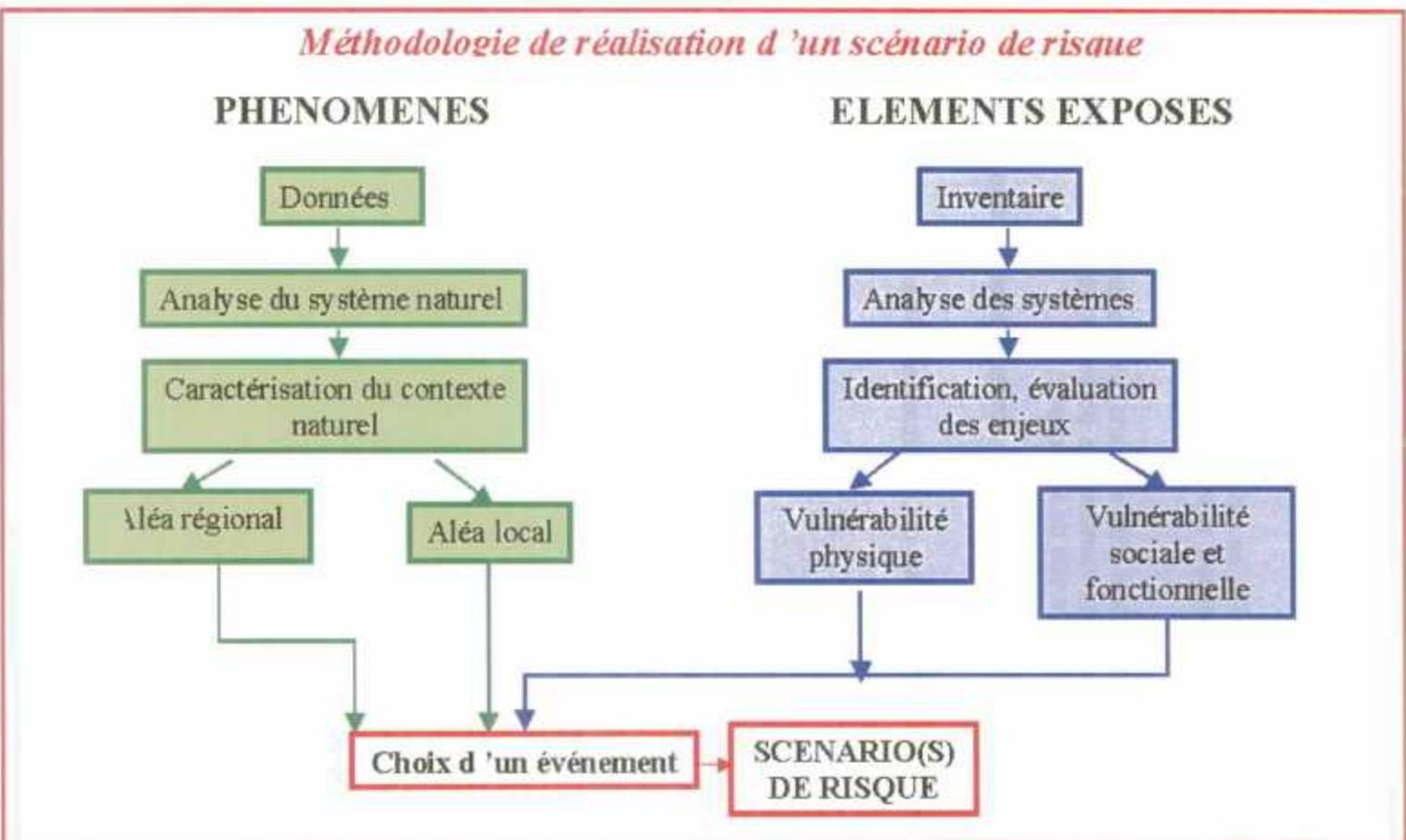


Figure 1 : Methodologie de réalisation d'un scénario sismique

## 2. Méthodologie

La méthode de réalisation du scénario d'événement sismique sur Mulhouse est illustrée dans la figure ci-contre et se déroule selon trois principales étapes :

- Etude du phénomène et de l'aléa,
- Analyse des éléments exposés, mise en évidence des enjeux et évaluation de leur vulnérabilité,
- Réalisation d'un ou de plusieurs scénario(s) d'événement sismique(s).

L'étude du phénomène et de l'aléa repose sur :

- la connaissance de l'aléa sismique régional et local. Celle-ci fait l'objet de différents rapports<sup>1</sup> et n'est rappelée que brièvement dans ce document, sous la forme de cartes représentant l'aléa régional et l'aléa local.

L'analyse des éléments exposés, la mise en évidence des enjeux et l'évaluation de leur vulnérabilité a porté sur :

- une brève analyse des éléments exposés de la ville de Mulhouse, des enjeux qui la caractérisent et des dangers auxquels ils peuvent être soumis,
- une évaluation simplifiée de la vulnérabilité physique des habitations, et des fonctions.

L'analyse de la vulnérabilité physique des habitations a également fait l'objet d'une étude<sup>2</sup>. Seules les principales conclusions de ces rapports seront donc reportées ici.

Le scénario sismique est caractérisé par :

- le choix d'un événement représentatif, caractérisé par ses paramètres physiques, accélération au rocher, intensité et effets de site, et l'heure d'occurrence de l'événement,
- le calcul de l'endommagement des habitations, et des préjudices humains qui y sont liés,
- l'analyse simplifiée des dysfonctionnements prévisibles.

Les différentes étapes présentées sont schématisées dans la figure ci-après, avec les cartes de synthèse obtenues. Le détail de la méthodologie du traitement des données est présenté schématiquement en annexe.

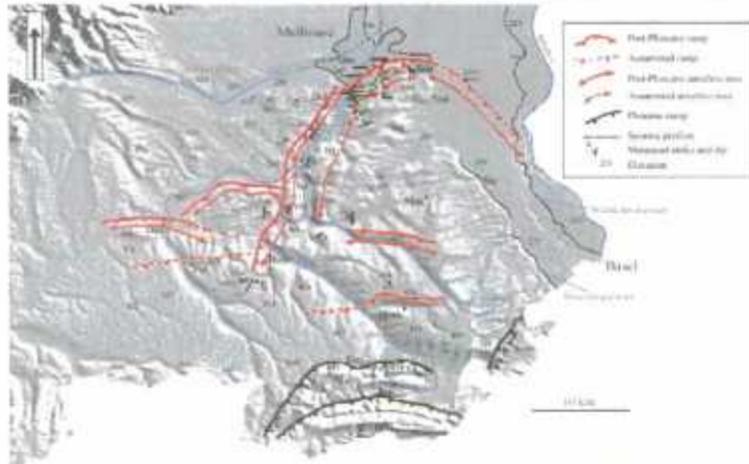
---

<sup>1</sup> Deliverable 4.1 : First Appraisal of Seismotectonic in Southern Upper Rhine Graben, Winter T. and Nivière B. Projet SAFE (2002) ; Microzonage sismique du bassin de Mulhouse, Mouroux P. et Thierry P. - Rapport BRGM RP52754FR

<sup>2</sup> Commune de Mulhouse : vulnérabilité du bâti - Simonet F. et Marçot N. - Rapport BRGM RP52761, décembre 2003

## Phénomène et aléa

### Aléa régional



### Aléa local

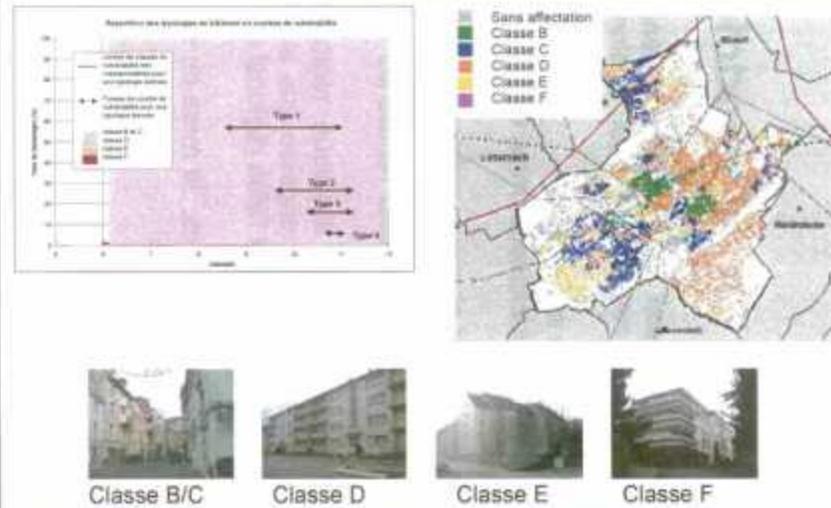


## Éléments exposés

### Les enjeux de la ville de Mulhouse



### Vulnérabilité des bâtiments



## Scénario de séisme

Voir figure 16

### 3. Phénomène et aléa

Le séisme de Bâle de 1356 est le plus fort séisme qu'ait connu l'Europe Occidentale, il contrôle l'aléa sismique de la région et va être utilisé dans l'étude comme séisme de référence.

Pourtant, il reste de nombreuses incertitudes :

- Sa connaissance est très partielle : quelques chroniques du 14 et 16ème siècles...
- Des dommages mal contraints et une faille responsable inconnue
- Une magnitude incertaine (6.7 pour les Suisses; 6.2 pour les Français)

#### 3.1. L'ALEA REGIONAL

L'étude détaillée de l'aléa régional fait l'objet de l'Axe 1 du programme Safe. Seule la cartographie résultant de cette étude est présentée ici. Il faut remarquer que Mulhouse se situe dans une zone de forte sismicité bien que de faible occurrence. La période de retour d'un séisme de magnitude 5.3 est de 475 ans.

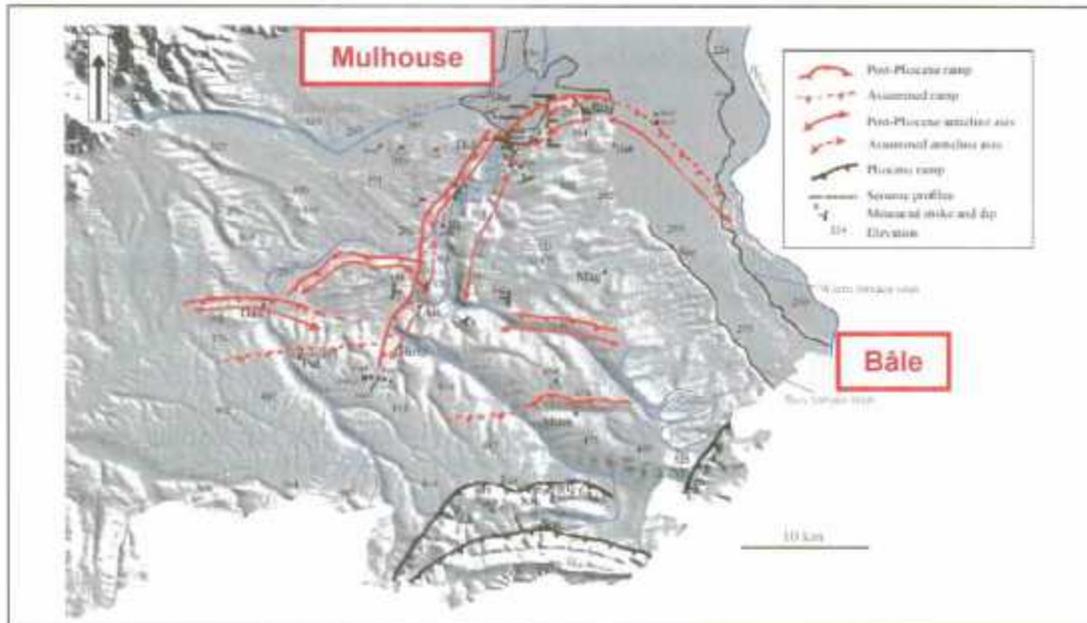


Figure 3 : Modèle morphostructural du Sundgau (Winter T. et Nivière B. – 2002)

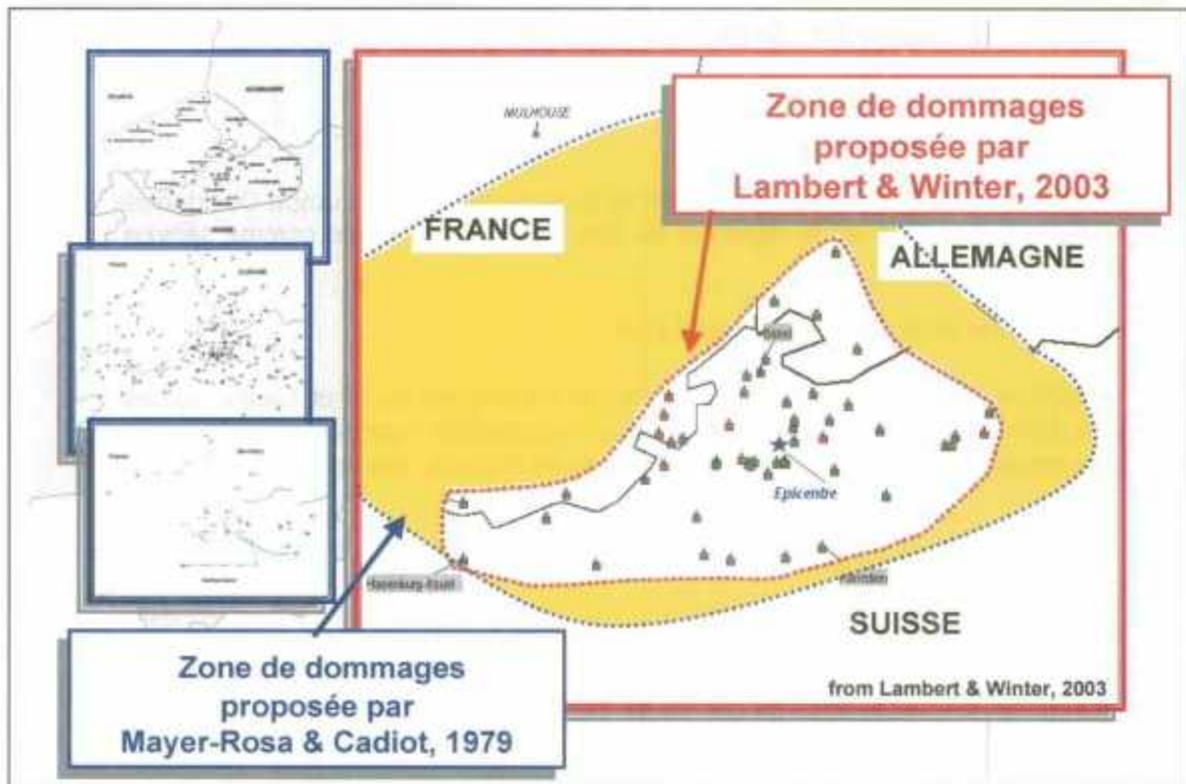


Figure 4 : Incertitudes sur les zones de dommages majeurs du séisme de Bâle (1356)

### 3.2. L'ALEA LOCAL

L'étude de l'aléa local concerne l'analyse des zones où sont susceptibles de se produire des effets de site, de la liquéfaction et des mouvements de terrain.

#### 3.2.1. Les zones à effets de site

Ces zones ont pour caractéristiques d'amplifier les secousses sismiques, dans des proportions importantes, puisqu'elles peuvent entraîner une augmentation de l'intensité de 0,26 à 0,76 degrés sur l'échelle EMS 98. Cette amplification est liée soit à la topographie des sites, soit à la rhéologie des sols.

Leur prise en compte dans l'étude s'est appuyée

- sur les pratiques récentes des propositions faites dans le cadre des nouveaux règlements parasismiques, déjà applicables comme l'UBC97 (Etats-Unis) ou applicables prochainement comme l'Eurocode 8 qui remplacera à terme les règles françaises PS 92
- sur les données physiques disponibles.

Il s'agit ici d'un microzonage de premier niveau. Seules ont été prises en compte les données immédiatement disponibles :

- sondages numérisés disponibles en BSS<sup>3</sup> ;
- carte géologique à 1 / 50 000 (Feuille 413 « Mulhouse ») ;
- rapports BRGM concernant le secteur ;
- Modèle Numérique de Terrain (MNT) à pas de 50 m de l'IGN.

L'analyse de ces données a été appuyée par des observations de terrain et par des données géotechniques fournies par la Société Fondasol.

Les travaux réalisés pour le microzonage font l'objet d'un rapport de synthèse<sup>4</sup>. Seuls les résultats cartographiques sont présentés dans ce rapport.

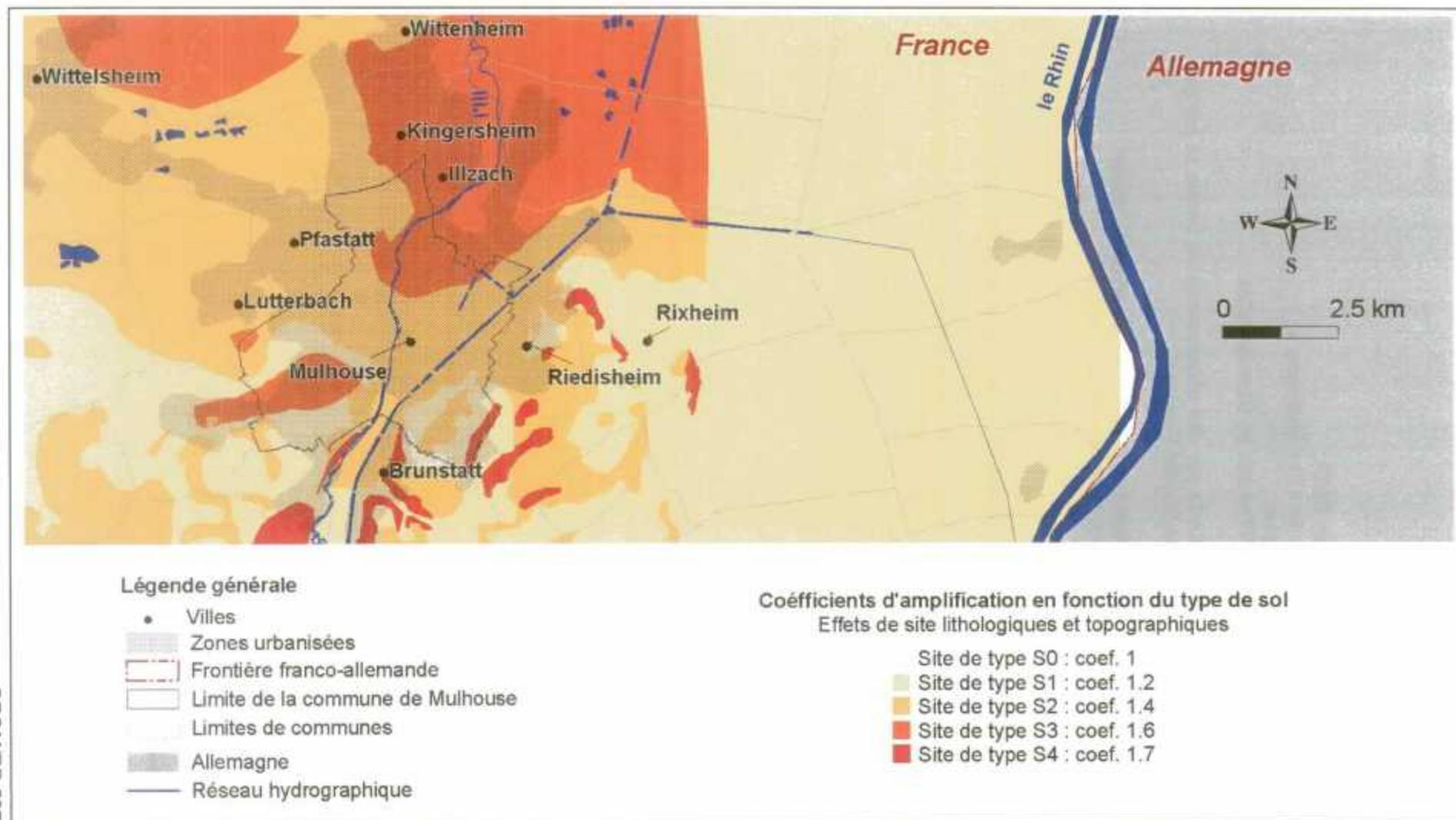
### **3.2.2. Les phénomènes de liquéfaction et de mouvements de terrain**

Les mouvements de terrain ont fait l'objet d'un recensement et leur connaissance permet de les prendre en compte au niveau du scénario.

---

<sup>3</sup> BSS : Banque de données du Sous-Sol gérée par le BRGM

<sup>4</sup> Microzonage sismique du bassin de Mulhouse – Mouroux P. et Thierry P. – Rapport BRGM RP52754FR – décembre 2004



**Figure 5 : Microzonage sismique réalisé sur Mulhouse et sa région**  
(réalisé d'après le rapport BRGM RP52754FR - Mouroux P. et Thierry P.)

## **4. Analyse des éléments exposés et de leur vulnérabilité**

### **4.1. LES ELEMENTS EXPOSES**

L'objet de cette analyse est de mettre en évidence les éléments importants de la ville, tant du point de vue économique, que social ou environnemental.

Cette identification sommaire doit permettre d'analyser la vulnérabilité des enjeux à un événement sismique, afin d'analyser les conséquences que celui-ci pourrait avoir.

Les acteurs locaux de la gestion des risques et du territoire sont les plus à même d'identifier les enjeux et d'en analyser la vulnérabilité. C'est pourquoi l'analyse succincte présentée ci-dessous a été réalisée essentiellement à partir des interviews des responsables locaux (on trouvera en annexe la liste des personnes interrogées).

#### **4.1.1. Les enjeux économiques**

La principale caractéristique de la ville de Mulhouse et plus généralement du département du Haut Rhin est sa forte activité industrielle, particulièrement chimique, qui l'inscrit dans le couloir rhénan de la chimie. Celui-ci est très fortement caractérisé par sa nature internationale, allemande, suisse et française.

Bon nombre d'usines sont classées Seveso, ce qui sous entend une dangerosité importante et la soumission à une réglementation particulière.

Au niveau départemental, du point de vue économique, les principaux enjeux à identifier sont donc essentiellement les usines chimiques, mais aussi les très fortes activités industrielles que sont la construction automobile, la fabrication textile et l'industrie minière. Cette dernière connaît actuellement un fort déclin avec la fermeture des Mines de Potasse d'Alsace.

Contribuant au développement économique, les réseaux de transport sont également très développés : le Rhin constitue un axe fluvial d'importance européenne, le réseau ferré permet de desservir les installations industrielles, le réseau autoroutier dessert l'Alsace et l'ouvre sur la Suisse et l'Allemagne.

La ville de Mulhouse elle-même est très représentative de l'activité économique de la région. Deux usines chimiques sont installées dans la ville, ainsi que la gare de triage SNCF et le réseau autoroutier la ceinture fortement. Profitant de cette implantation, la ville de Mulhouse abrite une population très active marquée par le travail frontalier, au taux de chômage plus faible que la moyenne française.

#### **4.1.2. Les enjeux sociaux**

L'objectif de cette étude étant d'identifier les dysfonctionnements possibles en cas d'événement sismique, et le niveau de l'analyse étant sommaire, celle-ci n'a porté que sur les fonctions qui permettent à l'organisation sociale d'être efficace et dont il faut examiner la vulnérabilité.

Différentes fonctions peuvent être identifiées. A chacune d'elles correspond généralement un bien dont la vulnérabilité au risque sismique doit être évaluée. Dans le cadre de cette étude, succincte, seuls les principaux enjeux ont été identifiés et reportés cartographiquement sur la ville de Mulhouse. Dans le cadre d'une étude approfondie, il importerait de recenser tous les enjeux appartenant à chaque fonction et d'analyser leur vulnérabilité.

Leur liste est présentée dans le tableau ci-dessous.

TRANSPORT	Routes, autoroutes, voie ferrée, aéroport
APPROVISIONNEMENT	Réseau d'eau, de gaz, d'électricité
GESTION DES DÉCHETS	Station d'épuration, traitement des ordures ménagères
PRODUCTION	Cf. activité économique
COMMUNICATION	Central télécom, centres et réseaux d'émission TV, radio
ÉDUCATION	Ecoles, collèges, lycées, université
GOVERNANCE	Mairie, Préfecture
CULTURE/SPORT/LOISIR	Musées, salles de spectacle, de sport etc...
SÉCURITÉ PUBLIQUE	Centres de secours
SANTÉ	Hôpital, crèches, maisons de repos....
CULTE	Lieux de culte

#### 4.1.3. Les enjeux environnementaux

Contrainte par une activité chimique locale et régionale très forte, marquée par une activité industrielle ancienne importante, la ville de Mulhouse a le souci d'avoir une image respectueuse de l'environnement.

Le risque industriel est très présent dans la ville, mais malgré l'explosion récente de l'usine d'AZF, la population est assez peu sensibilisée au risque industriel. Elle se plaint plus des nuisances olfactives ou sonores que des risques possibles.

Il n'en reste pas moins que le principal enjeu environnemental sur le territoire de la ville de Mulhouse est représenté par le risque généré par la présence des industries Seveso et le transport des matières dangereuses.

Bien que non située sur le territoire de la ville, la centrale de Fessenheim est également fréquemment citée comme source potentielle de danger.

Les cartes ci-après présentent l'ensemble des principaux enjeux identifiés dans le cadre de cette étude.

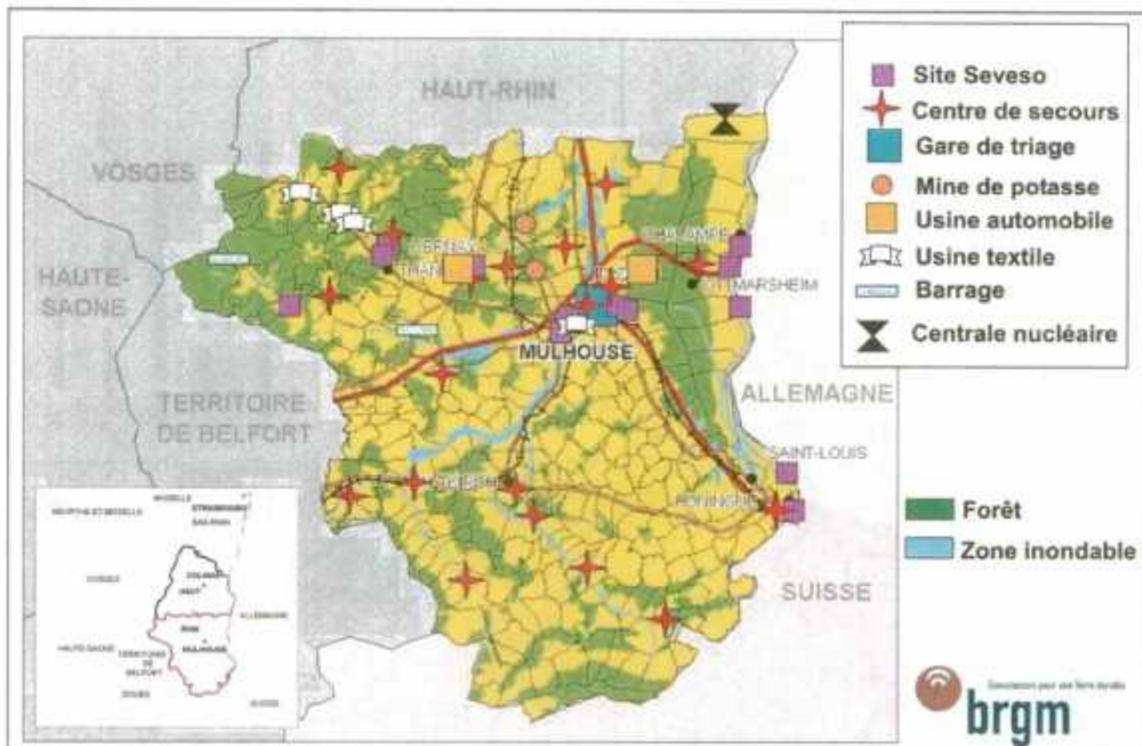


Figure 6 : Principaux enjeux industriels du Haut Rhin et centres de secours

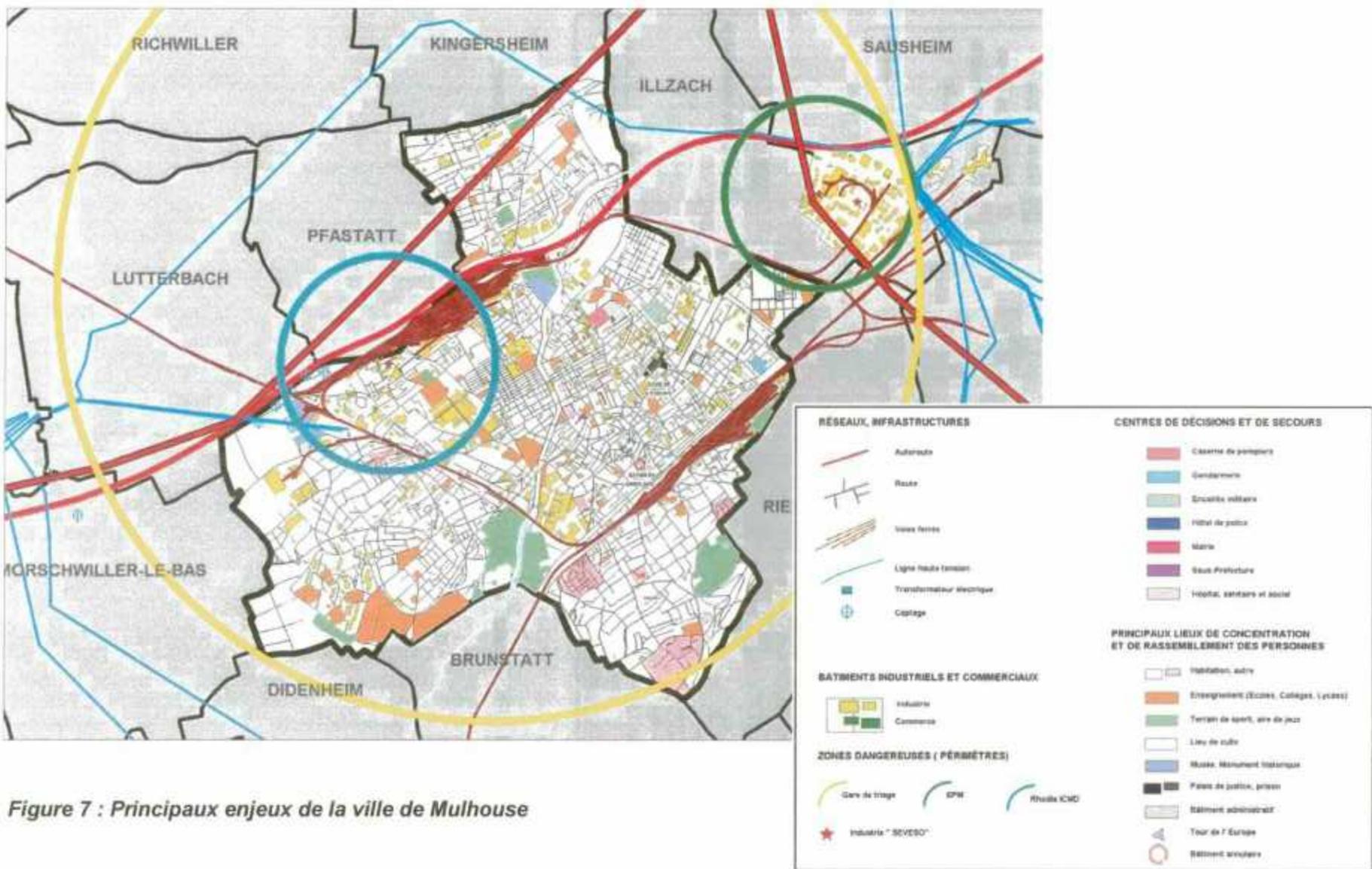


Figure 7 : Principaux enjeux de la ville de Mulhouse

## 4.2. EVALUATION SIMPLIFIEE DE LA VULNERABILITE DES HABITATIONS ET DES FONCTIONS

### 4.2.1. Les habitations, typologie et vulnérabilité

Dans le cadre de cette étude, les habitations ont fait l'objet d'une analyse de vulnérabilité simplifiée, afin de permettre une évaluation de dommages physiques et une estimation sommaire des préjudices humains qui pourraient être dus à un séisme.

Les résultats de ces travaux sont brièvement exposés ci-après.

L'analyse de la vulnérabilité des habitations a été réalisée selon la méthodologie mise en place par le BRGM<sup>5</sup>. Celle-ci repose sur les tâches suivantes :

- Réalisation d'une typologie du bâti,
- Evaluation de la vulnérabilité de chaque type de bâti,
- Zonage de la ville en quartiers homogènes par rapport à la répartition du bâti.

### 4.2.2. Typologie des habitations

Définir une typologie des habitations a pour objectif de permettre d'affecter à un type de bâti une ou des courbes de vulnérabilité correspondant aux normes EMS 98 (voir paragraphe suivant).

La typologie définie est basée sur la période et le type de construction et sur les principaux critères architecturaux des bâtiments tels que la mitoyenneté, le nombre d'étages, la transparence des rez-de-chaussée.

Les systèmes constructifs des bâtiments sont en relation avec la période de construction. Celle-ci correspond à l'histoire de la ville, dont les principaux repères historiques et architecturaux peuvent être présentés de façon synthétique comme ci-dessous :

1466-1798	Alliance avec les cantons helvétiques.
1798	Rattachement de Mulhouse à la France.
1824-1830	Style pré-haussmannien sous Charles X
1853-1900	Essor industriel, au cours duquel la population passe de 50 000 à 100 000 habitants – Création des cités ouvrières.
1871-1918	Occupation allemande avec la construction de l'église Saint Fridolin (1908) et les casernes du Kaiser. Styles wilhelmien et néo-alsacien.
1930	Jugendstil dans le centre et au Rebberg.
1950-2000	Mutation de l'activité industrielle vers une offre tertiaire et universitaire.

<sup>5</sup> Rapport BRGM R 40612 Evaluation des dommages directs d'un séisme sur la ville de Nice

Différents quartiers de la Commune peuvent ainsi être datés facilement selon les périodes de l'histoire au cours desquelles ils ont été construits. De plus, la commune possède des fichiers fournissant les dates de construction des habitations. Ceux-ci ont été utilisés pour cette étude.

A Mulhouse, un type de bâti correspond à deux ou trois types de vulnérabilité car chaque type de bâti n'est pas homogène : transparences dans les quartiers commerçants, entretien inégal, modifications dans les centres villes etc..

Les grands types de bâtiment retenus, en liaison avec la vulnérabilité définie par les EMS 98 sont les suivants :

Type d'habitat	Date de construction	Type de construction
Type 1	Avant 1870	Maçonnerie
Type 2	Entre 1870 et 1959	Maçonnerie / Acier / Bois / Béton armé
Type 3	Entre 1960 et 1992	Béton armé
Type 4	A partir de 1992	Béton armé suivant les règles parasismiques



**Figure 8 : Typologie des constructions sur la commune de Mulhouse**

Les bâtiments étudiés pour l'analyse de leur vulnérabilité sont les bâtiments d'habitation. L'étude du cabinet Simonet<sup>6</sup> a mis en évidence un certain nombre d'îlots INSEE principalement constitués de bâtiments d'habitation, par opposition aux autres îlots concernant plus particulièrement des complexes industriels et commerciaux (Figure 10).

<sup>6</sup> Commune de Mulhouse : vulnérabilité du bâti - Simonet F. et Marçot N. – Rapport BRGM RP52761, décembre 2003

La répartition spatiale de ces bâtiments est la suivante :

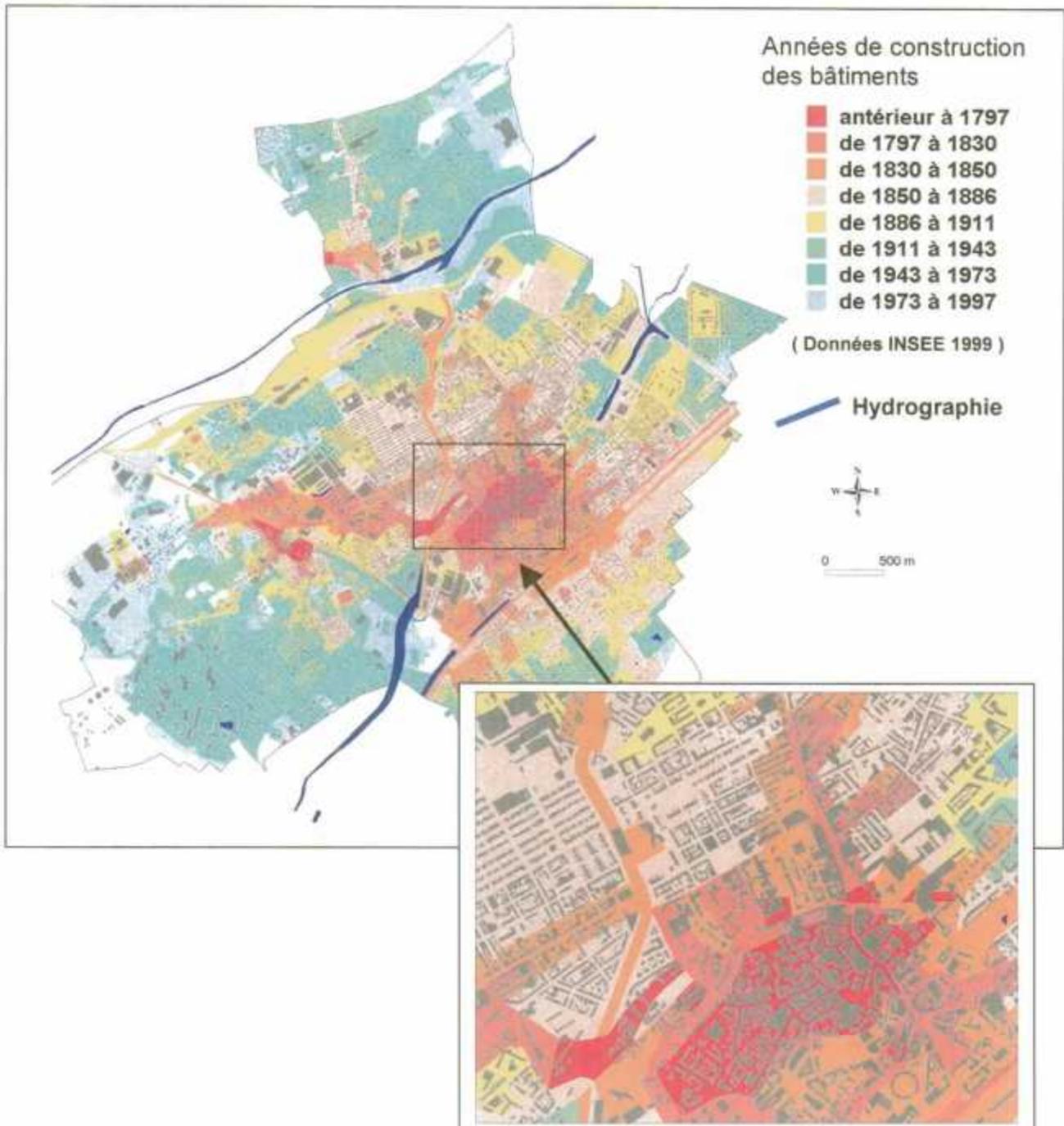


Figure 9 : Répartition des habitations dans Mulhouse par date de construction

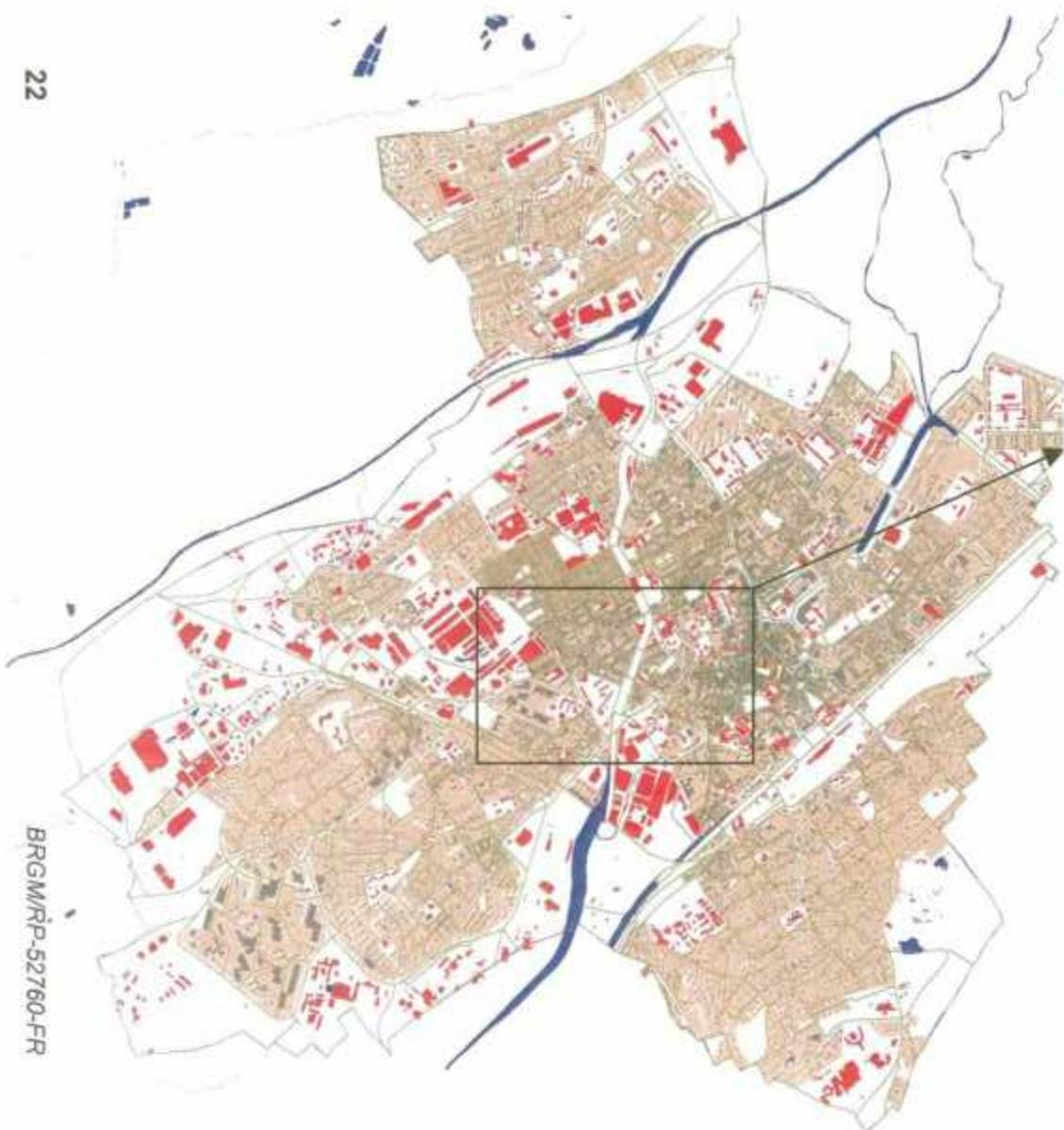


Figure 10 : Affectation d'une vulnérabilité dans les îlots d'habitation



0 500 m

- Bâtiments**  
(BD Topo IGN)
- Bâtiment sans affectation d'une vulnérabilité
  - Bâtiments avec affectation d'une vulnérabilité
- Ilots**
- Ilot INSEE (1999)
  - Ilots étudiés en terme de vulnérabilité du bâti
- Limite de la commune
- Hydrographie

### 4.2.3. Vulnérabilité selon les EMS 98

#### Principes généraux

La classification des bâtiments selon les EMS 98 fait intervenir 4 grands types de constructions : maçonnerie, béton armé, acier et bois.

Selon cette distinction, les EMS-98 définissent une plage correspondant à différentes valeurs possibles pour la vulnérabilité d'un bâtiment d'un type donné ; Cette plage inclus les incertitudes relatives à l'hétérogénéité possible du bâti (Figure 11)

Ainsi, pour un bâtiment construit avec une maçonnerie en pierre (voir encadré dans la figure ci-dessous), la classe de vulnérabilité la plus vraisemblable sera la classe B, avec une évolution très peu probable voir exceptionnelle vers la classe de vulnérabilité A.

Une correspondance entre la typologie des bâtiments et les 5 classes de vulnérabilité des EMS-98 permet donc d'affecter plusieurs classes de vulnérabilité à une typologie donnée, à partir de la description des éléments structuraux.

Type de structure	Classe de vulnérabilité					
	A	B	C	D	E	F
MACONNERIE	Moellons	○				
	Pierres brutes	○				
	Adobe (briques de terre)	○	•••			
	<b>Pierres</b>		○	•••		
	Pierres taillées		○	•••		
	Briques ou blocs de béton non armés et sans chaînage		○	•••		
	Briques non armées avec plancher béton armé		○	•••		
BETON ARME	B.A sans disposition parasismique		○	•••		
	B.A avec un niveau minimum de dispositions parasismiques		○	•••		
	B.A avec un niveau moyen de dispositions parasismiques		○	•••		
	B.A avec un haut niveau de dispositions parasismiques		○	•••		
BOIS	Structures en bois		○	•••		

- Classe de vulnérabilité très vraisemblable
- Etendue probable
- Etendue la moins probable - cas exceptionnels

#### Définition des quantiles

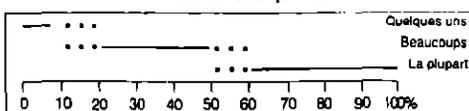


Figure 11 : Différenciation des structures (bâtiments) dans les classes de vulnérabilité (EMS-98)

### **Application à la ville de Mulhouse**

La classe de vulnérabilité « A » correspondant aux maisons rurales en argile, pisé, briques de terre crue, et maçonnerie en pierres tout venant n'est pas représentée sur la commune de Mulhouse, et a donc été volontairement supprimée de la typologie pour cette étude.

L'étude réalisée par le Cabinet Simonet sur le bâti de Mulhouse a distingué 5 classes de vulnérabilité<sup>7</sup>, présentées ci-dessous (Figure 12 et Figure 13).

Ces données concernent les bâtiments d'habitation, qui représentent les deux tiers des informations recueillies et une partie des commerces, écoles et lieux de culte qui représentent le dernier tiers.

Les grands complexes industriels, ainsi que les zones commerciales autour du centre ville de Mulhouse n'ont pas fait l'objet d'un examen de leur vulnérabilité, et n'ont donc pas été inclus dans le calcul des dommages au bâti.

- La classe « B » correspond aux :
  - Maçonnerie en pierres simples taillées,
  - Maçonnerie en briques ordinaires ou en blocs de béton non armés,
  - Constructions mixtes maçonnerie – bois.
- La classe « C » correspond aux :
  - Maçonnerie en pierres massives,
  - Maçonnerie en briques avec des planchers en béton armé,
  - Constructions en béton armé non calculé au séisme.
- La classe « D » correspond aux constructions de meilleure qualité structurelle, de type :
  - Maçonnerie en briques armée,
  - Constructions en structures acier,
  - Constructions de qualité en bois,
  - Constructions en béton armé, avec un minimum de conception antisismique.
- La classe « E » correspond aux constructions de plus grande qualité structurelle, de type :
  - Constructions en béton armé, avec une conception antisismique modérée.
- La classe « F » correspond aux structures à haute résistance aux séismes, de type :
  - Constructions en béton armé, avec une grande conception antisismique.

**Figure 12 : Relations entre la typologie du bâtiment, les éléments structuraux et l'affectation d'une classe de vulnérabilité à un bâtiment (Simonet, 2003)**

<sup>7</sup> Commune de Mulhouse : vulnérabilité du bâti - Simonet F. et Marçot N. – Rapport BRGM RP52761, décembre 2003

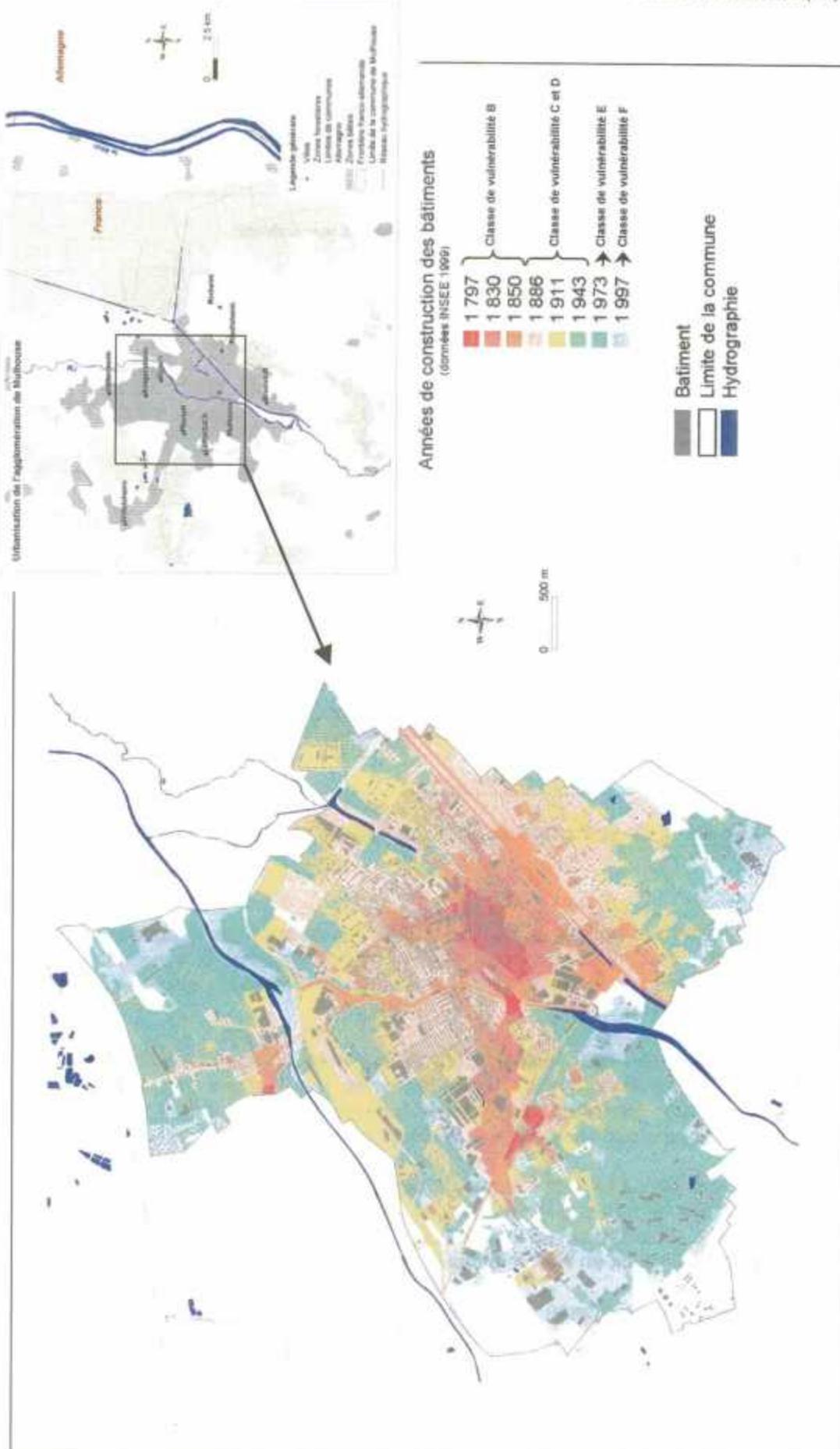


Figure 13 : Répartition de l'urbanisation sur la ville de Mulhouse et vulnérabilité du bâti

La relation entre les types de bâti définis à Mulhouse et les courbes de vulnérabilité des EMS-98 est présentée sur la figure ci-dessous (Figure 14).

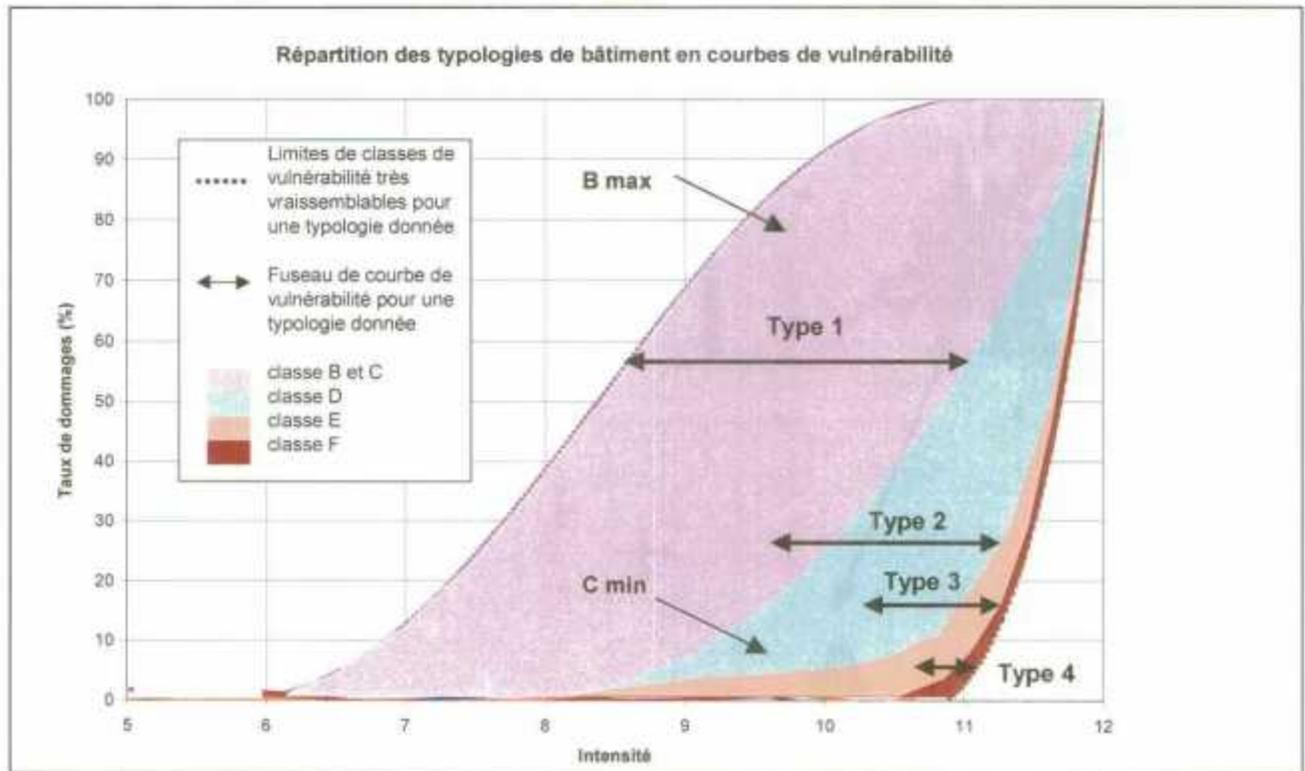


Figure 14 : Courbes de vulnérabilité pour les bâtiments de type 1, 2, 3 et 4

Remarques :

- Les limites des bâtiments de type 1 sont les courbes correspondant aux classes B et C. La limite la plus vulnérable (à gauche) correspond à la courbe B max et la limite la moins vulnérable (à droite) correspond à la courbe C min ;
- Cette répartition des typologies de bâtiments en courbes de vulnérabilité montre une nette distinction entre les types 1 et 2 d'une part, et 3 et 4 d'autre part ; En effet, la première catégorie montre des fuseaux de courbes beaucoup plus larges que la seconde.
- Le fuseau de vulnérabilité du type 1 apparaît donc particulièrement large : ceci révèle un manque d'informations et de détail dans la description des éléments structuraux et dans les critères de vulnérabilité de cette catégorie. Il réunit en effet à la fois les classes de vulnérabilité B et C ;
- En revanche, le fuseau de vulnérabilité du type 4 est très étroit, il ne concerne en effet que les bâtiments construits selon les normes parasismiques ;

La répartition géographique des bâtiments d'habitation en fonction des classes de vulnérabilité est présentée ci-dessous.

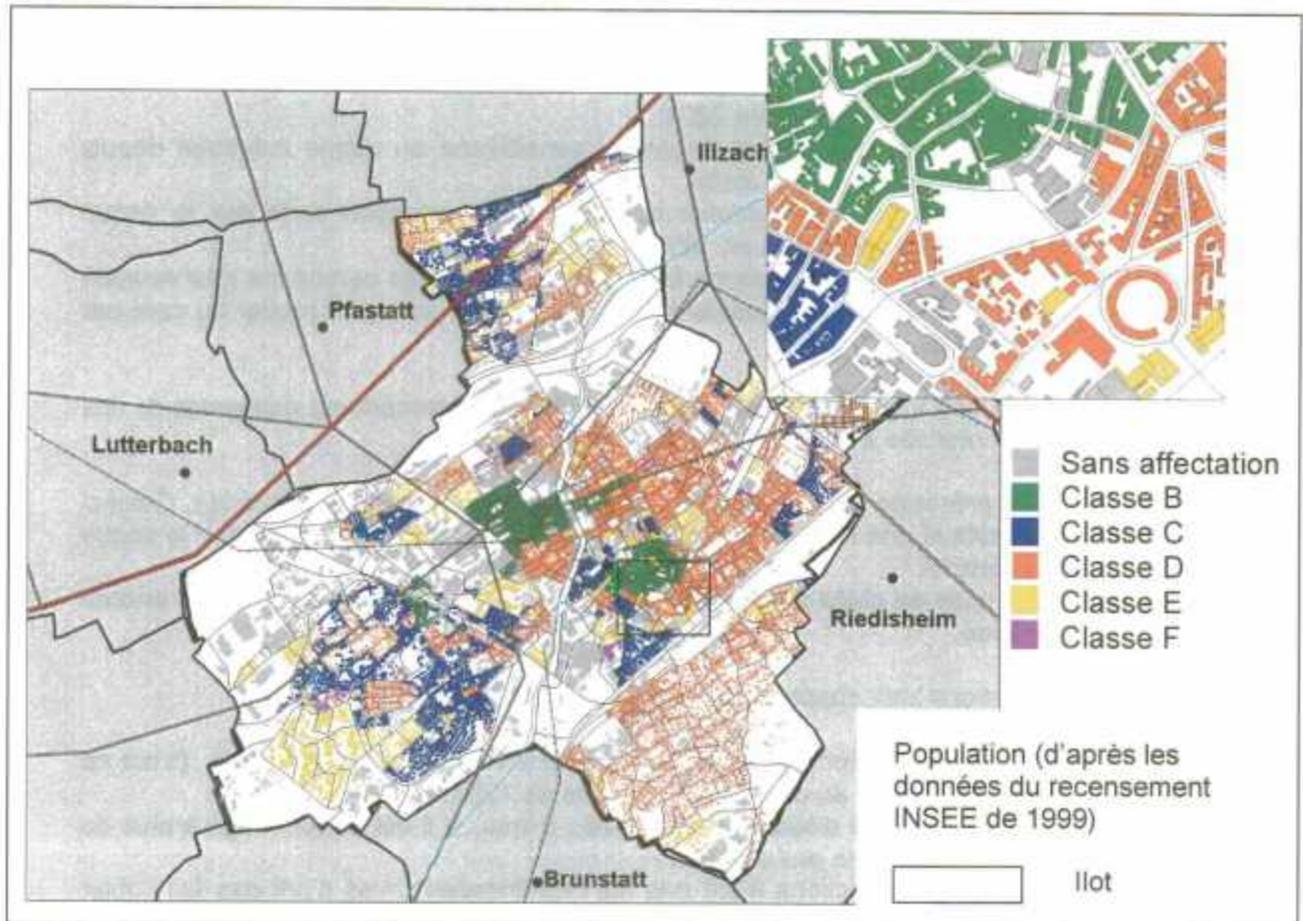


Figure 15 : Répartition géographique des habitations selon leur typologie

#### 4.2.4. Vulnérabilité fonctionnelle

L'analyse de la vulnérabilité fonctionnelle de la ville de Mulhouse a pour objectif d'identifier le contexte dans lequel pourrait se dérouler un événement sismique. Quels moyens de secours pourraient être mis en œuvre, quelles seraient les difficultés qu'ils pourraient rencontrer, pourrait-il y avoir des facteurs aggravants ?

Cette analyse a été menée à partir des interviews des responsables de la gestion du risque cités précédemment pour l'identification des enjeux.

Le contexte du risque en général et du risque sismique plus particulièrement, sur Mulhouse est le suivant :

- trois usines Seveso seuil haut, une usine Seveso seuil bas et la gare SNCF sont situées en ville. Dans la gare transite une importante quantité de matières dangereuses. A l'extérieur de la ville, se trouvent des usines chimiques et une centrale nucléaire.
- le risque sismique est connu des industriels de la chimie qui disposent d'une étude sur l'aléa,
- 2 Accidents industriels ont eu lieu : un incendie en 1988, un déversement accidentel en décembre 2001,
- la population est assez fortement sensibilisée au risque industriel depuis l'accident d'AZF à Toulouse,
- un séminaire transfrontalier d'exercice de protection civile sur le risque sismique a été réalisé en 1993
- le risque considéré comme le plus probable par les personnes interviewées est un événement industriel bénin dégénéralant (transport routier ou gare par exemple).

L'identification des moyens de secours disponibles, des procédures existantes et des exercices déjà réalisés a mis en évidence :

- La présence du groupement Mulhouse-Rhin du SDIS à Mulhouse. Celui-ci constitue une force opérationnelle directe, un centre spécialisé sur le risque industriel.
- La mise en place à Mulhouse d'un plan de secours (MOCAMU) non encore validé,

Certaines fonctions sont susceptibles d'être vulnérables :

- Le réseau téléphonique est vulnérable aux coupures électriques, (c'est ce qui est apparu au cours de la tempête de 1999)
- La capacité de distribution du réseau d'eau, si il est endommagé à plus de 30%, ne semble pas assurée.
- Les autres fonctions n'ont pas été mentionnées, mais n'ont pas fait l'objet d'un examen.

Cette présentation de la vulnérabilité fonctionnelle est très succincte. L'analyse réalisée ici peut être enrichie lors du travail de restitution des résultats du scénario sismique qui sera fait aux acteurs locaux de la gestion du risque.

## 5. Réalisation du scénario

La méthodologie pour la réalisation d'un scénario de séisme est rappelée Figure 16.

### 5.1. CHOIX D'UN EVENEMENT

La méthodologie retenue est basée sur une approche déterministe.

Dans ce contexte, un séisme probable sur la zone de la ville de Mulhouse a été retenu à partir des connaissances acquises sur la sismicité régionale.

Ses caractéristiques sont décrites dans le tableau ci-dessous (Tableau 1), et sa situation géographique est présentée en Figure 17.

<b>Séisme de scénario</b>	
<b>Intensité maximale ressentie</b>	VIII-IX
<b>Magnitude</b>	M = 5.3 (T retour 475 ans)
<b>Distance à l'épicentre</b>	3 km
<b>Profondeur focale</b>	10 km
<b>Caractéristiques de la faille active</b>	Faille de Illfurth normale - N20° : SSW-NNE – 25 à 30 km de longueur Epicentre à l'intersection avec la faille de Mulhouse (N80°)

**Tableau 1 : Caractéristiques de l'événement de référence**

Trois autres séismes, localisés au même endroit mais avec des magnitudes différentes, ont également été étudiés afin d'évaluer la sensibilité des résultats à la magnitude du séisme :

- un séisme de magnitude 5.1
- un séisme de magnitude 5.5
- un séisme plus catastrophique de magnitude 5.8

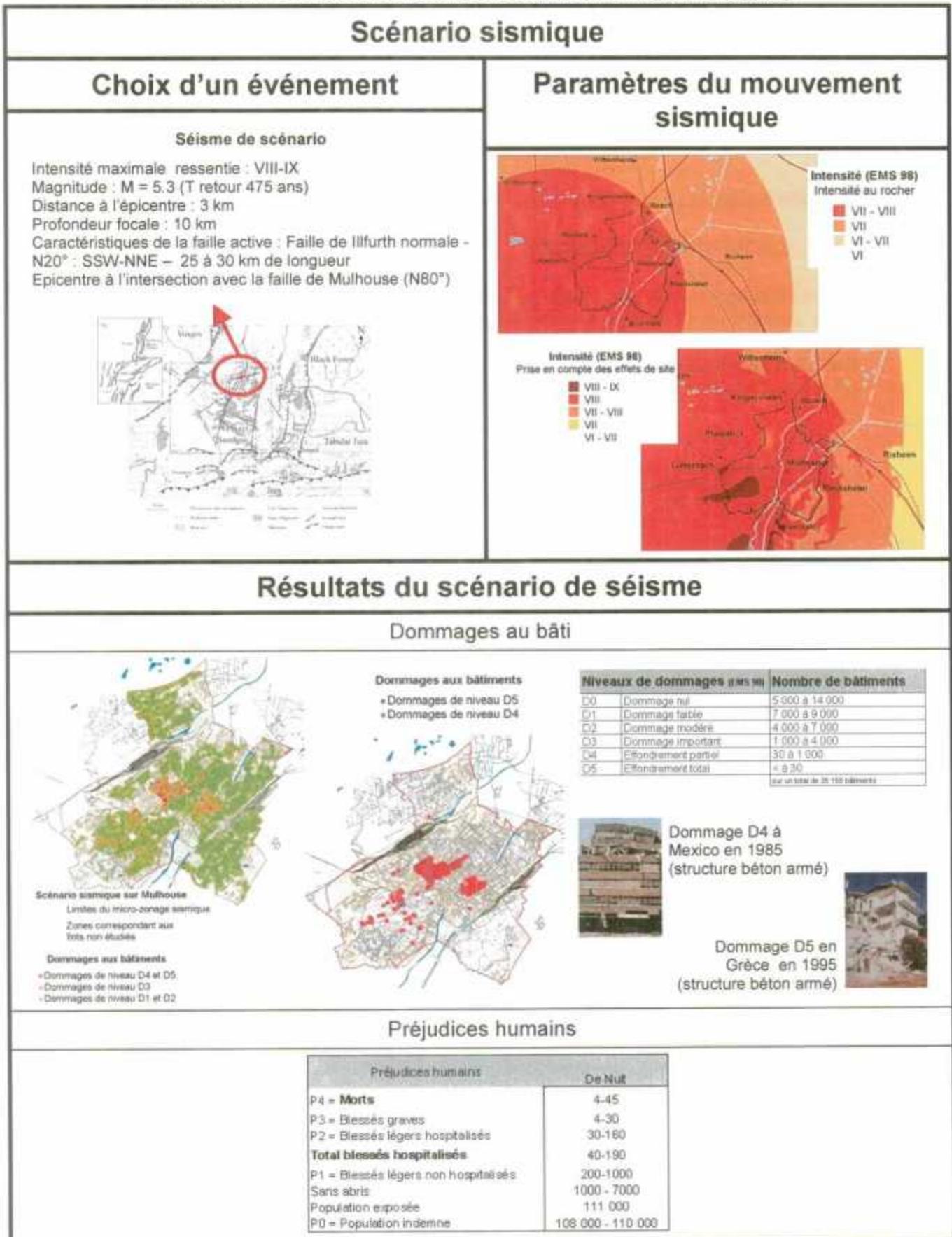


Figure 16 : Différentes étapes pour la réalisation d'un scénario de séisme

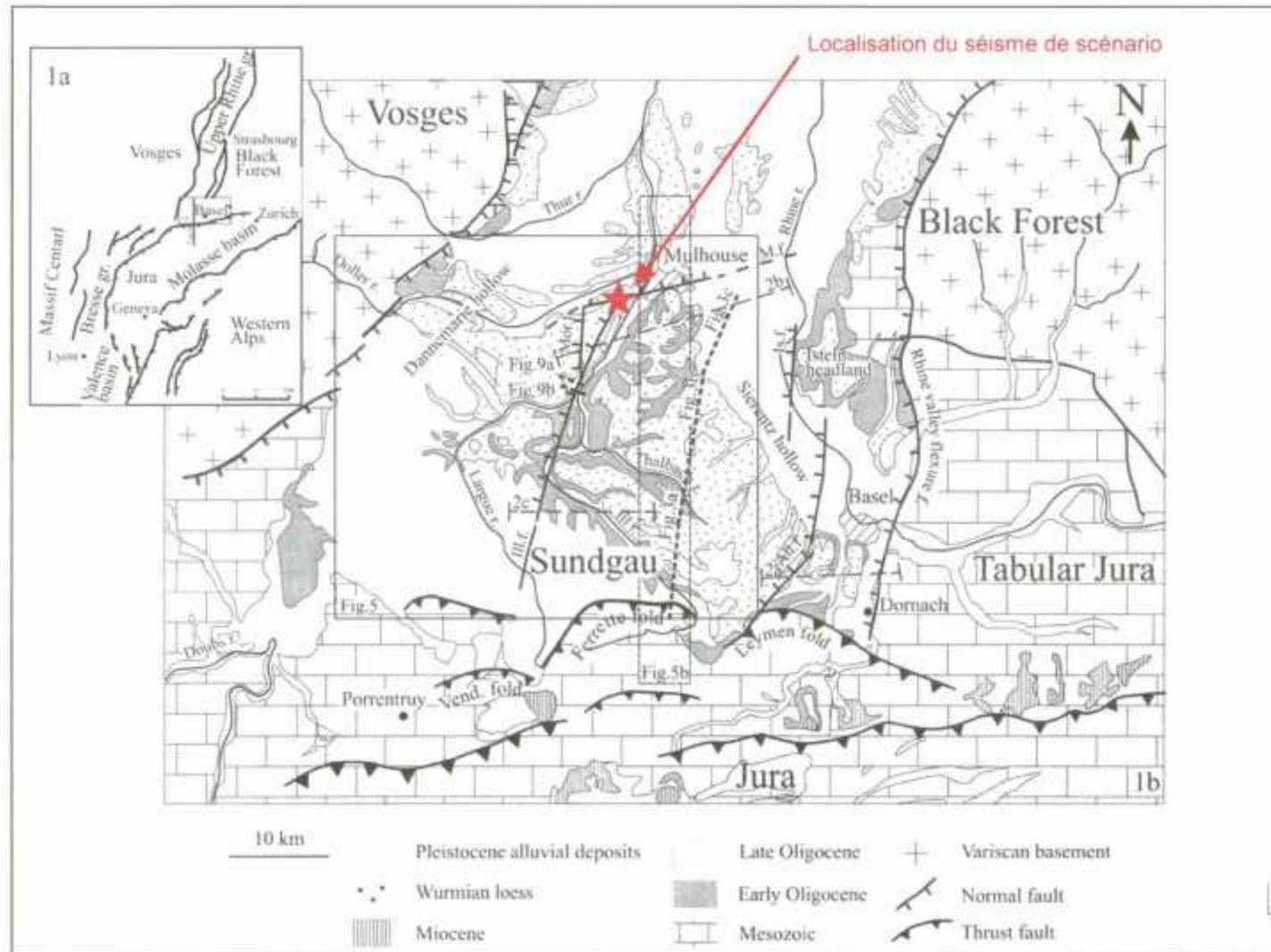


Figure 17 : Localisation du séisme de scénario sur une carte de sismicité historique de la région (Nivière et Winter, 2000)

## 5.2. CALCUL DES PARAMETRES PHYSIQUES

Les paramètres physiques calculés pour le scénario sont les accélérations et les intensités ressenties sur la zone.

A partir d'un événement sismique de magnitude et de profondeur donnée, l'accélération sur un sol rocheux est calculée en tous points de la zone étudiée ;  
Le microzonage est ensuite pris en compte, en appliquant des coefficients aux paramètres physiques afin de tenir compte des particularités mécaniques de certaines formations géologiques, et de la topographie du sol ;  
Ces calculs sont réalisés pour l'accélération ou pour l'intensité. Les résultats sont présentés sous forme cartographique.

### 5.2.1. Calcul du pic d'accélération du sol au rocher (PGA : "Pic ground acceleration")

#### *Loi d'atténuation*

La loi d'atténuation retenue est la loi Sadigh *et al.* (1997)<sup>8</sup> : cette loi a été conçue avec les données venant de la Californie, et s'avère très bien contrainte et applicable pour la région de Mulhouse. Elle a été définie au rocher.

$$\log a = -0.624 + m - 2.1 * \text{Log}(r_z + \text{Exp}(1.29649 + 0.25 * m))$$

$$a = (10^{\log a_{\text{acc}}}) * 1000, \text{ (conversion g en mg: } *1000)$$

La distance considérée est la distance  $r_z$  : distance comprise entre le point d'enregistrement et le point de la zone de rupture de la faille le plus éloigné de l'hypocentre (Figure 18).

#### Validité de la loi en magnitude :

Magnitude minimale = 3.8

Magnitude maximale = 6.5

Accélération au rocher calculée : a

Magnitude considérée = **M<sub>w</sub>** (*Magnitude d'énergie ou de Kanamori* : elle est définie pour les très gros séismes, et calculée à partir d'un modèle physique de source sismique. Elle est reliée au moment sismique  $m_0$ ).

<sup>8</sup> « Attenuation Relationships for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data - Sadigh , Chang, Egan, Makdisi & Youngs normale - 1997

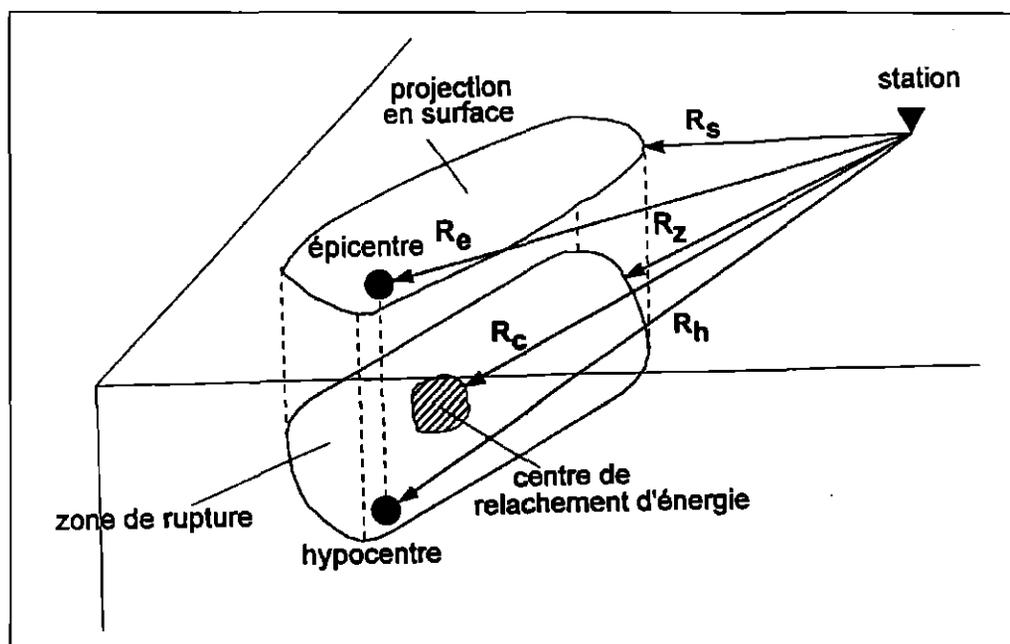


Figure 18 : Différentes mesures de distance  $R$  entre un séisme et un site d'observation

### Résultats

Les accélérations ainsi calculées, et correspondant aux accélérations au rocher (PGA : Pic Ground Acceleration) évoluent entre 0.54 et 1.57  $m.s^2$  sur toute l'agglomération de Mulhouse.

Les plus fortes accélérations sont concentrées dans un rayon de 3 km autour de l'épicentre, à l'extrémité sud-ouest de la ville de Mulhouse.

Les résultats sont représentés sur les cartes ci-dessous (Figure 19)

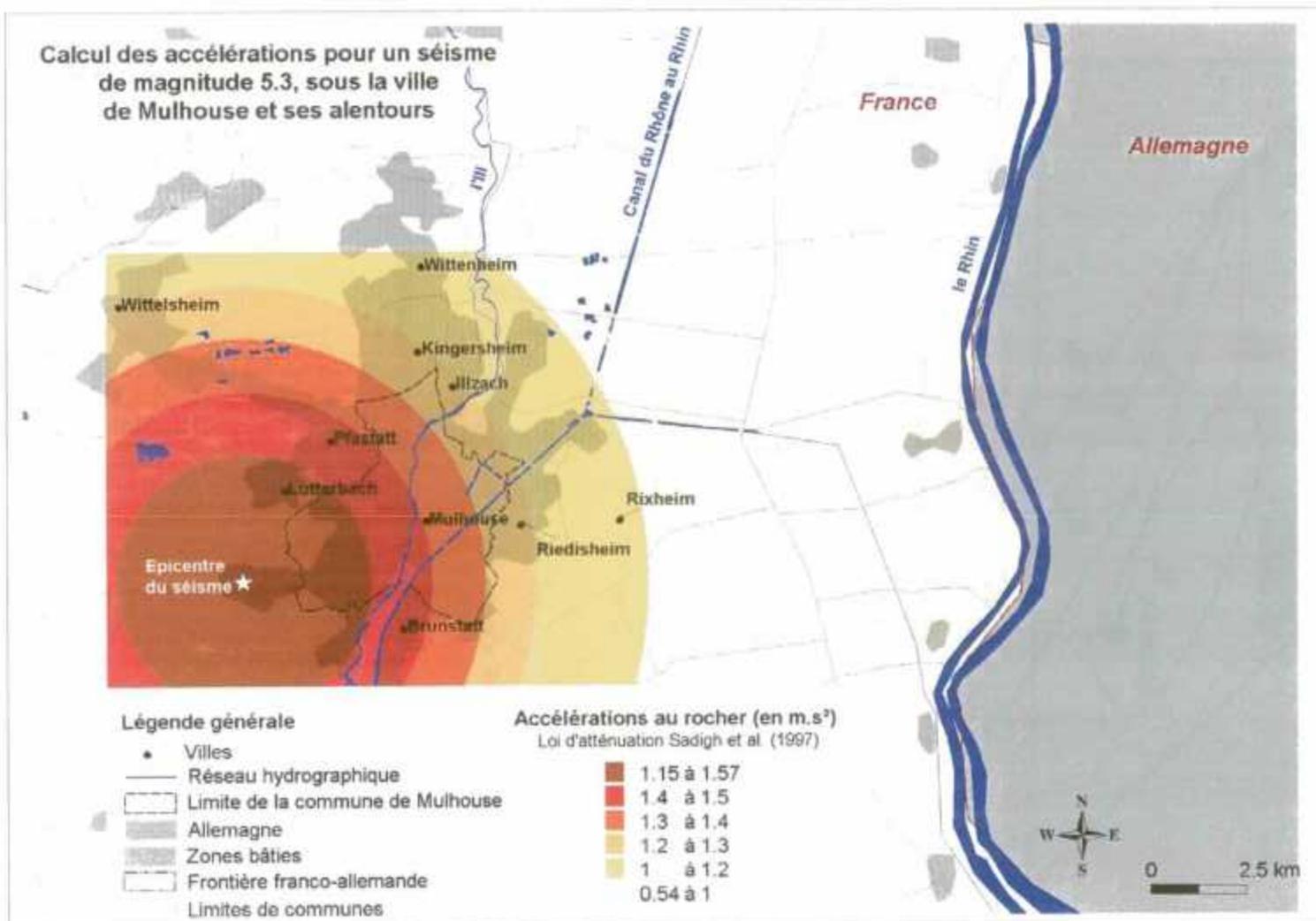


Figure 19 : Carte des accélérations au rocher pour un séisme de magnitude 5.3 sous la ville de Mulhouse

### 5.2.2. Evaluation des intensités

Les corrélations d'usage courant en génie parasismique sont celles qui relient l'intensité en un point à un paramètre du mouvement du sol enregistré au même point (en général, amplitude du pic d'accélération). La dispersion des données est très grande et les corrélations variables suivant les auteurs et les caractéristiques des observations : nombre de séismes et situation géographique, quantité des enregistrements, domaines des intensités et des accélérations (Figure 20)<sup>9</sup>.

La corrélation retenue (1) est une moyenne des corrélations présentées Figure 20.

$$I = 3.3 \log a + 7$$

(1)

I : Intensité de Mercalli modifiée  
a : accélération au rocher en m/s<sup>2</sup>

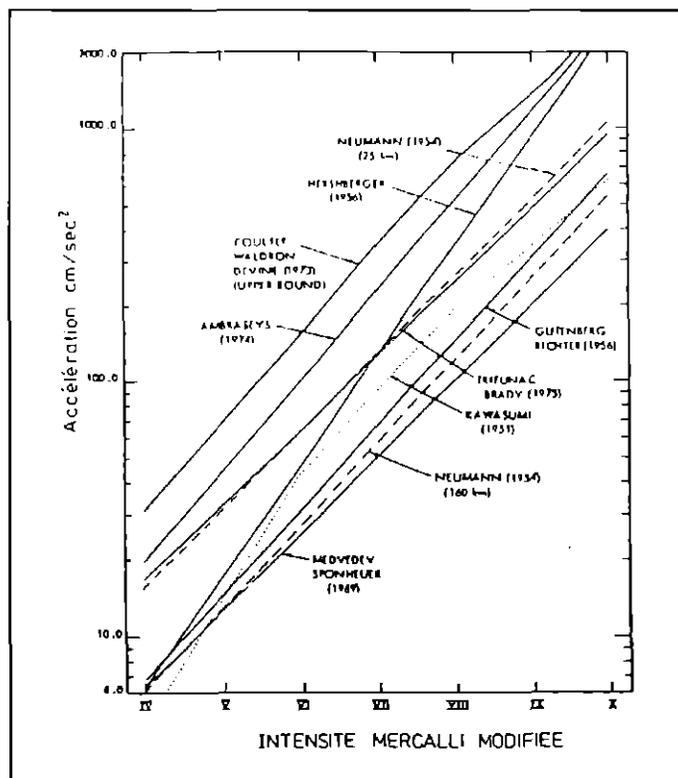


Figure 20 : Corrélations proposées par différents auteurs entre l'intensité macrosismique et le pic d'accélération horizontale du sol (d'après J.R. Murphy et L.J. O'Brien).

<sup>9</sup> Référence : Murphy J.R., O'Brien L.J., 1997 – The correlation of peak ground acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters – Bull. Seism. Soc Am., Vol. 67, n°3.

Le tableau ci-dessous (Tableau 2) montre la relation entre les accélérations et l'intensité issue de la corrélation (1).

Rappel :  $PGA (m.s^2) = 9.81 PGA (g)$

PGA (g)	0.03 – 0.08	0.08 – 0.12	0.12 – 0.18	0.18 – 0.25	0.25 – 0.5
PGA (m.s <sup>2</sup> )	0.3 – 0.8	0.8 – 1.2	1.2 – 1.8	1.8 – 2.5	2.5 – 5
PGV (cm/s)	3 - 8	8 - 12	12 - 18	18 - 25	35 - 50
Intensité	VII	VII - VIII	VIII	VIII - IX	IX

**Tableau 2 : Evaluation de l'intensité à partir de la valeur d'accélération au rocher**

Les intensités calculées par application de la relation (1) évoluent entre VI et VII-VIII sur l'ensemble de la région de Mulhouse, les intensités VII-VIII étant concentrées sur la commune de Mulhouse, et la zone de l'épicentre (Figure 21).

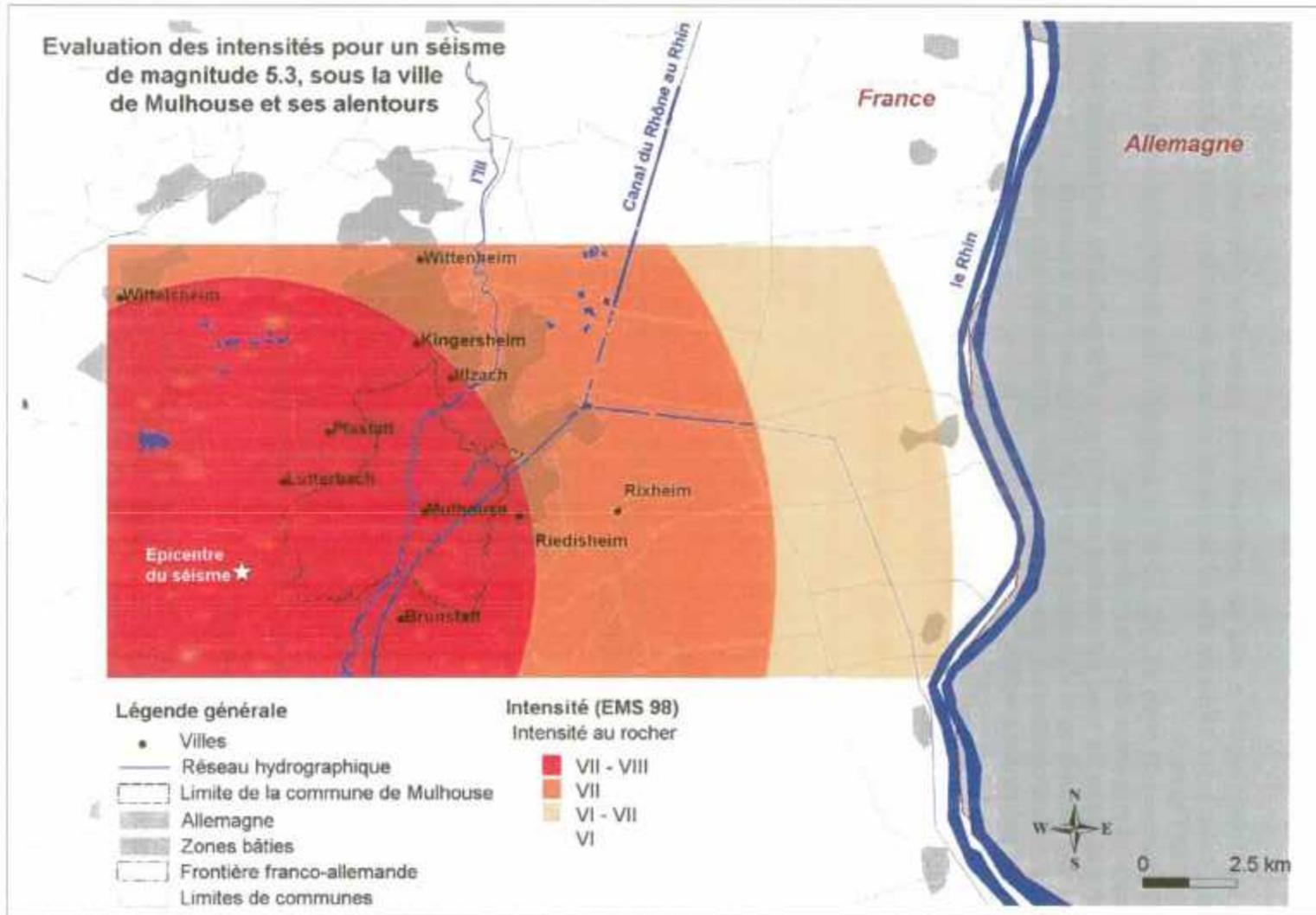


Figure 21 : Carte des intensités au rocher pour un séisme de magnitude 5.3 sous la ville de Mulhouse

### 5.2.3. Prise en compte des effets de site

#### Evaluation des effets de site lithologiques

L'étude sur l'aléa local<sup>10</sup> a mis en évidence des zones d'amplification des ondes sismiques, dues à des effets de site lithologiques qui sont présentées dans le chapitre "Aléa local" en Figure 5.

Les quatre classes de sites S1, S2, S3 et S4 produisant des amplifications des ondes sismiques sont présentes dans la zone étudiée :

A chacun des types de sites est associé un coefficient d'amplification de l'accélération au rocher, qui dépend de la rhéologie du sol et de l'épaisseur de la couche.

Les degrés d'incrémentations à utiliser pour évaluer les intensités sont calculés à partir de la formule présentée précédemment :  $I = 3.3 \log a + 7$

Exemple : pour une accélération de 1.2 m.s<sup>-2</sup>  
pour un coefficient d'amplification de 1.6  
Degré d'incrémentations =  $[3.3 \log(1.2 \cdot 1.6) + 7] - [3.3 \log(1.2) + 7] = 0.67$

Les coefficients d'amplification et les incréments retenus sont présentés ci-dessous.

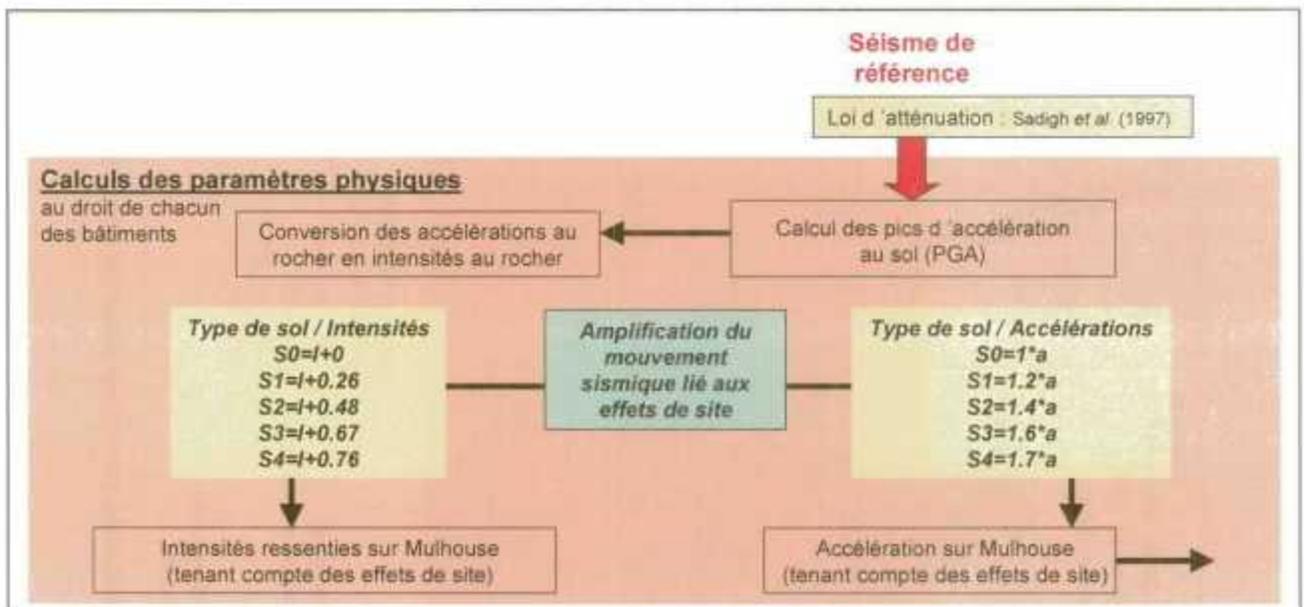


Figure 22 : Méthodologie de calcul des paramètres physiques

#### Représentation Cartographique

Les résultats de l'évaluation des intensités et des accélérations sont alors traduits en carte d'intensité et d'accélérations tenant compte des zones à effets de site lithologiques (Figure 23 et Figure 24). On notera un intensité égale à VIII – IX sur une partie de la ville de Mulhouse (la plus proche de l'épicentre, à l'extrémité sud-ouest).

<sup>10</sup> Microzonage sismique du bassin de Mulhouse - Mouroux P. et Thierry P. Rapport BRGM RP52754FR – décembre 2003.

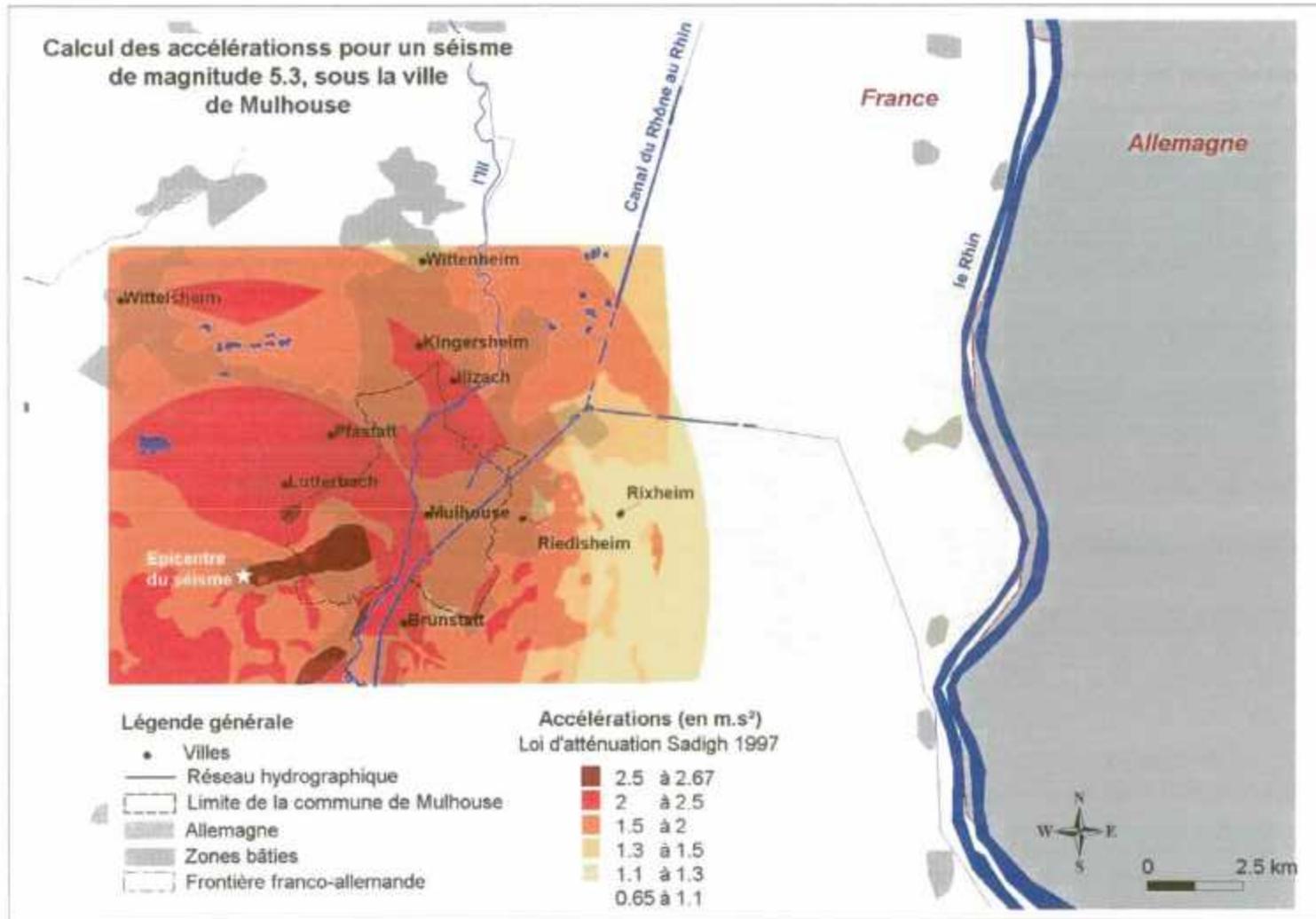


Figure 23 : Carte des accélérations sur la région de Mulhouse

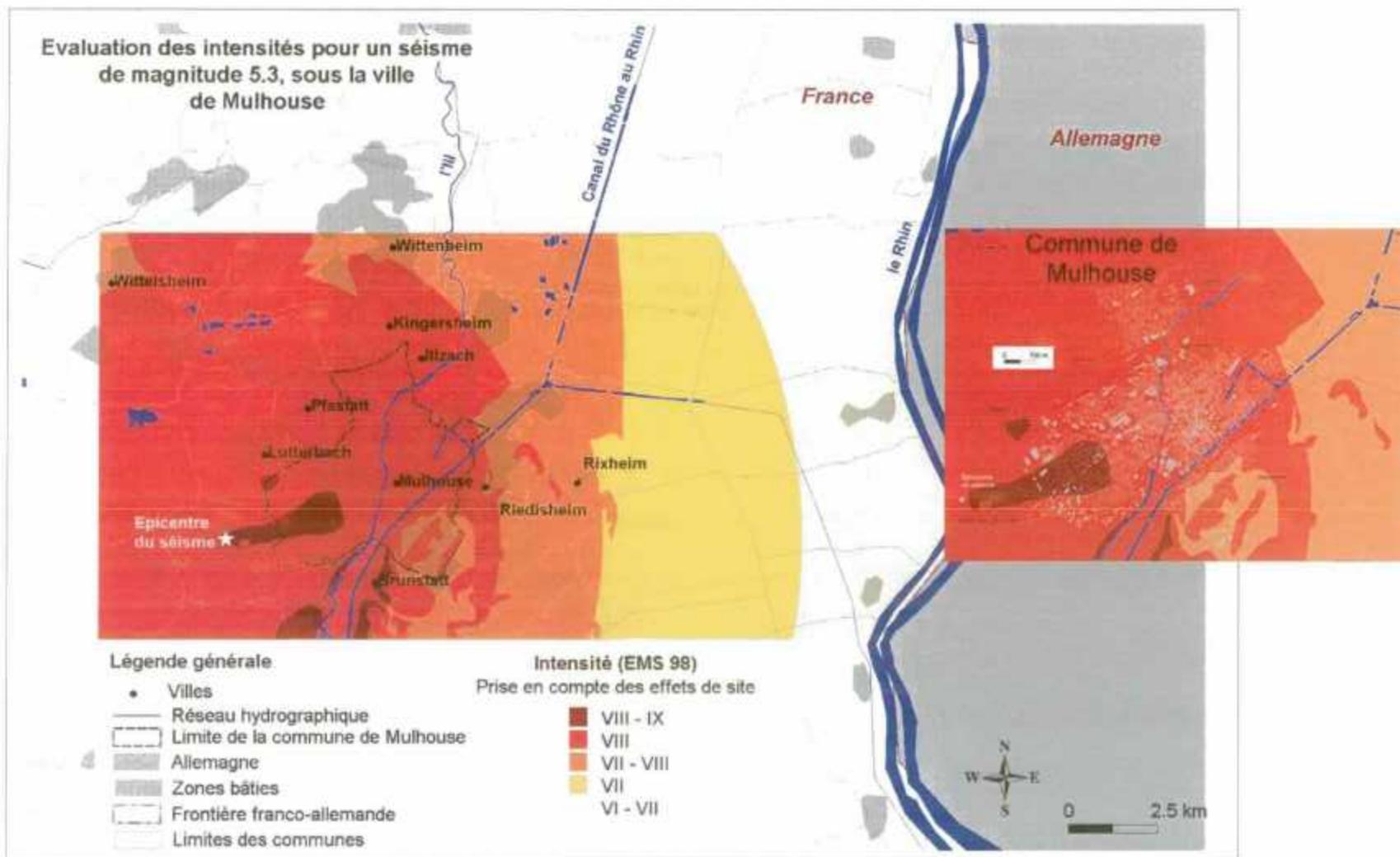


Figure 24 : Carte des intensités sur la région de Mulhouse et plus particulièrement sur la ville de Mulhouse

### 5.3. EVALUATION DES DOMMAGES AU BATI

#### 5.3.1. Définition des niveaux de dommages

Les courbes d'endommagement sont construites avec l'échelle de dommages des EMS-98. Celle-ci comprend 6 niveaux, depuis un niveau 0 pour lequel le bâtiment n'est pas endommagé, jusqu'à un niveau 5 correspondant à un effondrement total du bâtiment (Tableau 3).

Degrés de dommages	Types de dommages	Réparation	Pertes en vie humaines	Nature
<b>Degré 0</b> Dommages de 0 %	Nul	/	/	/
<b>Degré 1</b> Dommages de 0 à 5 %	Négligeable	Réparation sans évacuation des occupants	Très rares	Pas de dégâts structurels, dégâts négligeables aux éléments non structurels.
<b>Degré 2</b> Dommages de 5 à 20 %	Légers	Réparation sans évacuation des occupants	Rares	Dégâts mineurs aux éléments non structurels : fissures dans les cloisons de distribution ; chutes de plâtres ; chutes d'éléments légers de plafonds suspendus. Pas de dégâts structurels.
<b>Degré 3</b> Dommages de 20 à 50 %	Modérés	Réparation pouvant nécessiter l'évacuation des occupants	Peu nombreuses	Dégâts importants aux éléments non structurels, chutes de cheminées. Dégâts possibles aux éléments structurels, fissurés ou plastifiés mais non détruits.
<b>Degré 4</b> Dommages de 50 à 90 %	Graves (voir effondrements partiels)	Expertise pour décision d'évacuer ou non	Possibilités de pertes multiples	Dégâts très importants aux éléments non structurels. Rupture ou effondrement localisés d'éléments structurels.
<b>Degré 5</b> Dommages de 90 à 100 %	Total	Total	Total	Total

**Tableau 3 : Description du type de dommages aux bâtiments communaux de classe D et aux bâtiments courants de classe B (d'après les réglementations EMS-98).**

Les exemples présentés ci-dessous sont issus des EMS-98 et illustrent les dommages que peuvent subir les bâtiments en fonction de leur typologie (Figure 25 et Figure 26).

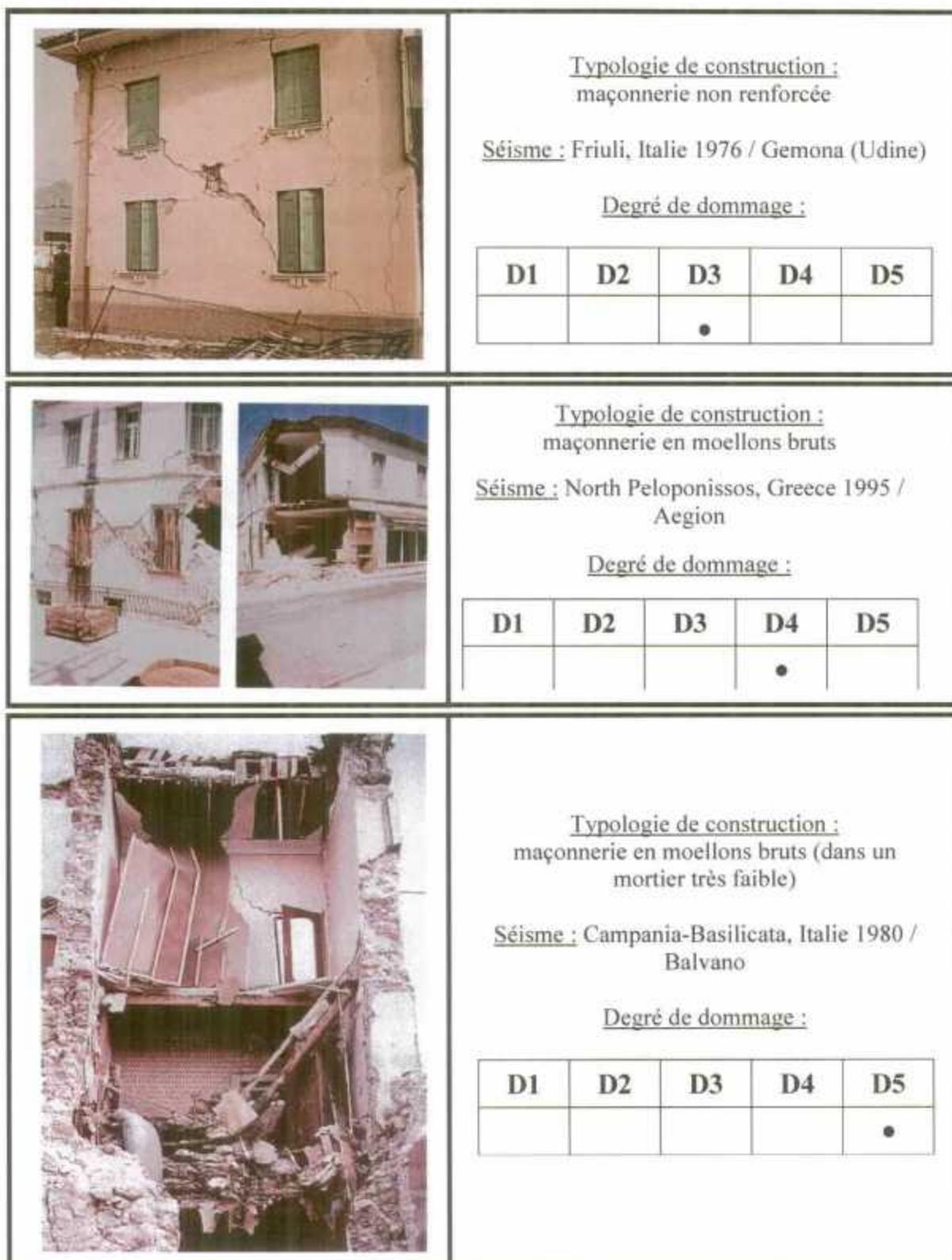


Figure 25 : Exemples de dommages aux constructions pour des bâtiments en maçonnerie (EMS-98)

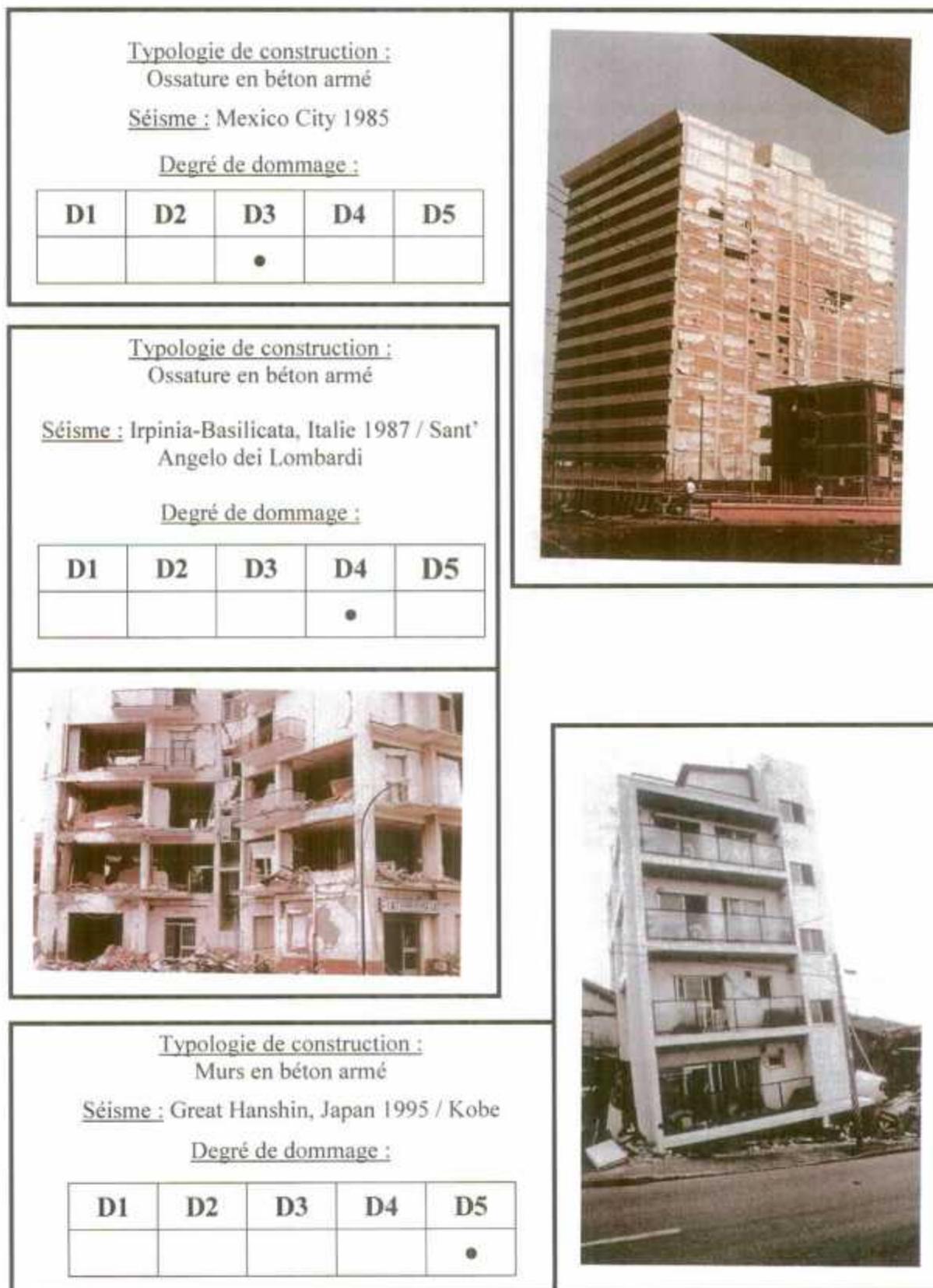
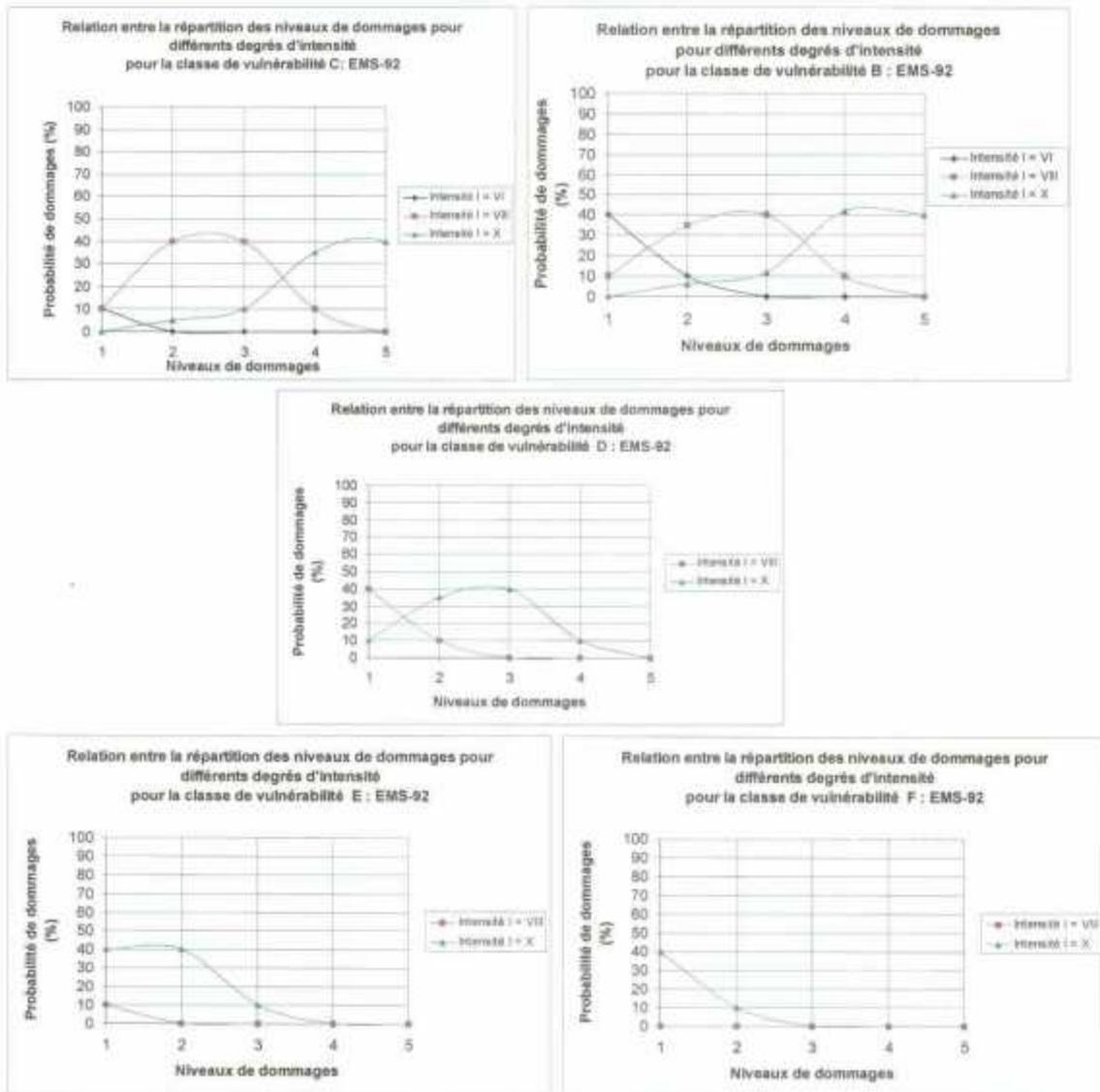


Figure 26 : Exemples de dommages aux constructions pour des bâtiments en béton armé (EMS-98)

A partir des données issues des EMS-98, les courbes d'endommagement fournissent pour une intensité et une classe de vulnérabilité données un pourcentage de dommages par niveau allant de 1 à 5 (Figure 27).



**Figure 27 : Courbes de probabilité de dommages en fonction du niveau de dommages, pour une intensité donnée (équivalentes aux courbes de fragilité – Hazus)**

### 5.3.2. Evaluation des dommages

Les dommages aux bâtiments sont fonction de la typologie de la construction et de l'accélération à au droit du bâtiment.

Ils sont évalués :

- Par niveau d'endommagement,
- Par type de bâti,
- Par zone construite.

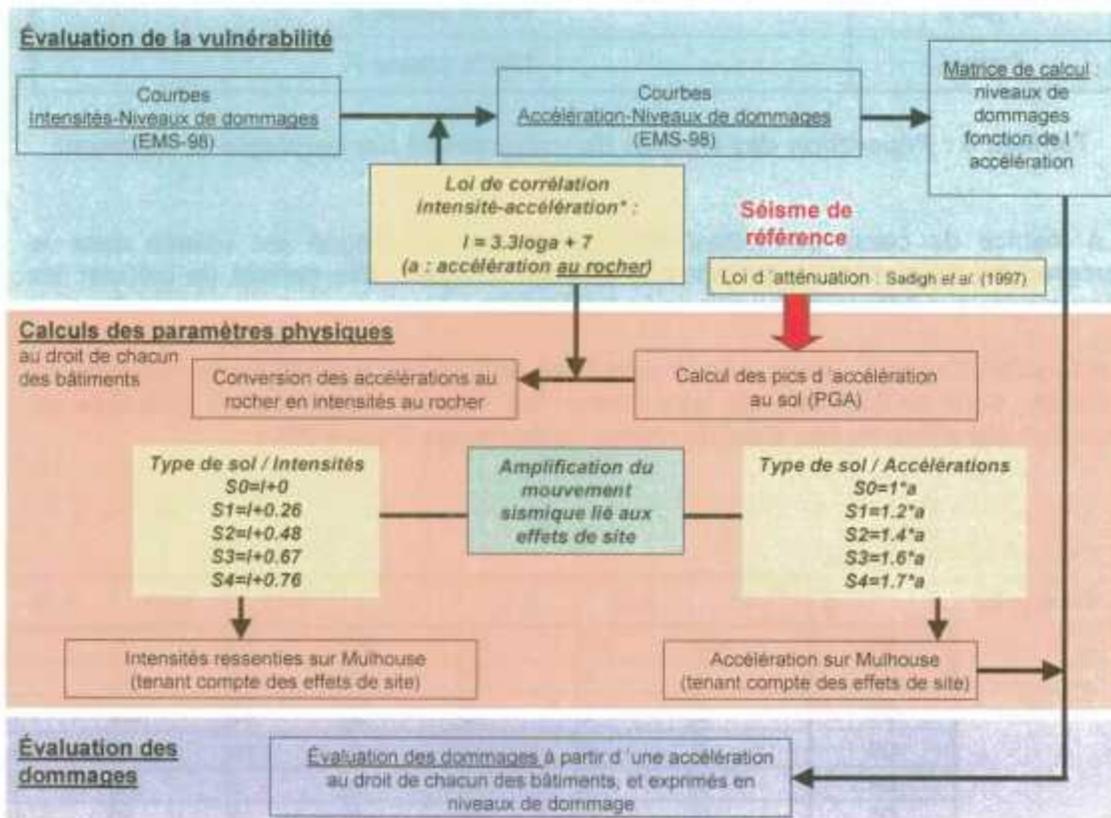


Figure 28 : Synthèse de la méthodologie d'utilisation des paramètres physiques pour l'évaluation des dommages

### Matrices de calcul

Les matrices de calcul utilisent la répartition statistique des classes de vulnérabilité par typologie de bâtiment, présentée dans le chapitre sur la vulnérabilité physique du bâti (Tableau 4) :

Typologie de bâti	Répartition par classe de vulnérabilité
Type 1	50 % classe B et 50 % classe C
Type 2	100 % classe D
Type 3	100 % classe E
Type 4	100 % classe F

**Tableau 4 : Répartition des classes de vulnérabilité par typologie de bâtiment**

La matrice de calcul permettant l'évaluation des dommages est utilisée dans le programme de simulation en tant que fonction d'impact. Elle permet de calculer les dommages aux bâtiments à partir de l'accélération.

La fonction d'impact utilisée pour le calcul des dommages aux bâtiments met donc en relation, pour un bâtiment de type donné, les valeurs d'accélération calculées en fonction des effets de site, avec un niveau de dommage (Figure 29) :

Niveaux dommages ↓	Accélération (g)						
	0	0,05	0,1	0,2	0,41	0,83	1,66
D0	100	100	90	50	10	5	0
D1	0	0	10	40	40	10	5
D2	0	0	0	10	40	35	10
D3	0	0	0	0	10	40	35
D4	0	0	0	0	0	10	40
D5	0	0	0	0	0	0	10

**Figure 29 : Fonction d'impact représentant la répartition en % des dommages aux bâtis en fonction de l'accélération pour un bâtiment de classe de vulnérabilité D.**

Ainsi, un bâtiment de classe D subissant une accélération de 0.41 g lors d'un séisme aura 40 % de chances d'être endommagé de façon modérée (niveau de dommages D2).

### Résultats des simulations

Le tableau ci-dessous (Tableau 5) présente les résultats d'une simulation d'un séisme de magnitude 5.3 sous la ville de Mulhouse, tenant compte de la variabilité des courbes de vulnérabilité (min et max)

Nombre total de bâtiments : 28656	D0 : dommage nul	D1 : dommage faible	D2 : dommage modéré	D3 : dommage important	D4 : effondrement partiel	D5 : effondrement total
Nombre de bâtiments	5000 - 14000	7000 - 9000	4000 - 7000	1000 - 4000	30 - 1000	< à 30

**Tableau 5 : Dommages au bâti issus d'une simulation de séisme sur Mulhouse**

Les cartes pages suivantes représentent la répartition des bâtiments plus ou moins gravement endommagés (D1 à D5) sur la commune de Mulhouse. On y observe une densité importante de bâtiments partiellement à totalement détruits (D4 et D5) en plein centre de la ville, au niveau des quartiers historiques construits durant la première moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle.

En plus d'être très vulnérable en raison d'un bâti ancien, ce quartier est très proche de l'épicentre, et subit par conséquent les effets directs du séisme. Il est aussi placé sur des niveaux géologiques pouvant subir des effets de site importants.

Les D3 sont plus généralement répartis. Les endommagements de niveau D1 et D2 affectent quant à eux l'ensemble de commune.

Les résultats par type de bâtiments sont présentés en annexe dans les conclusions de l'étude.

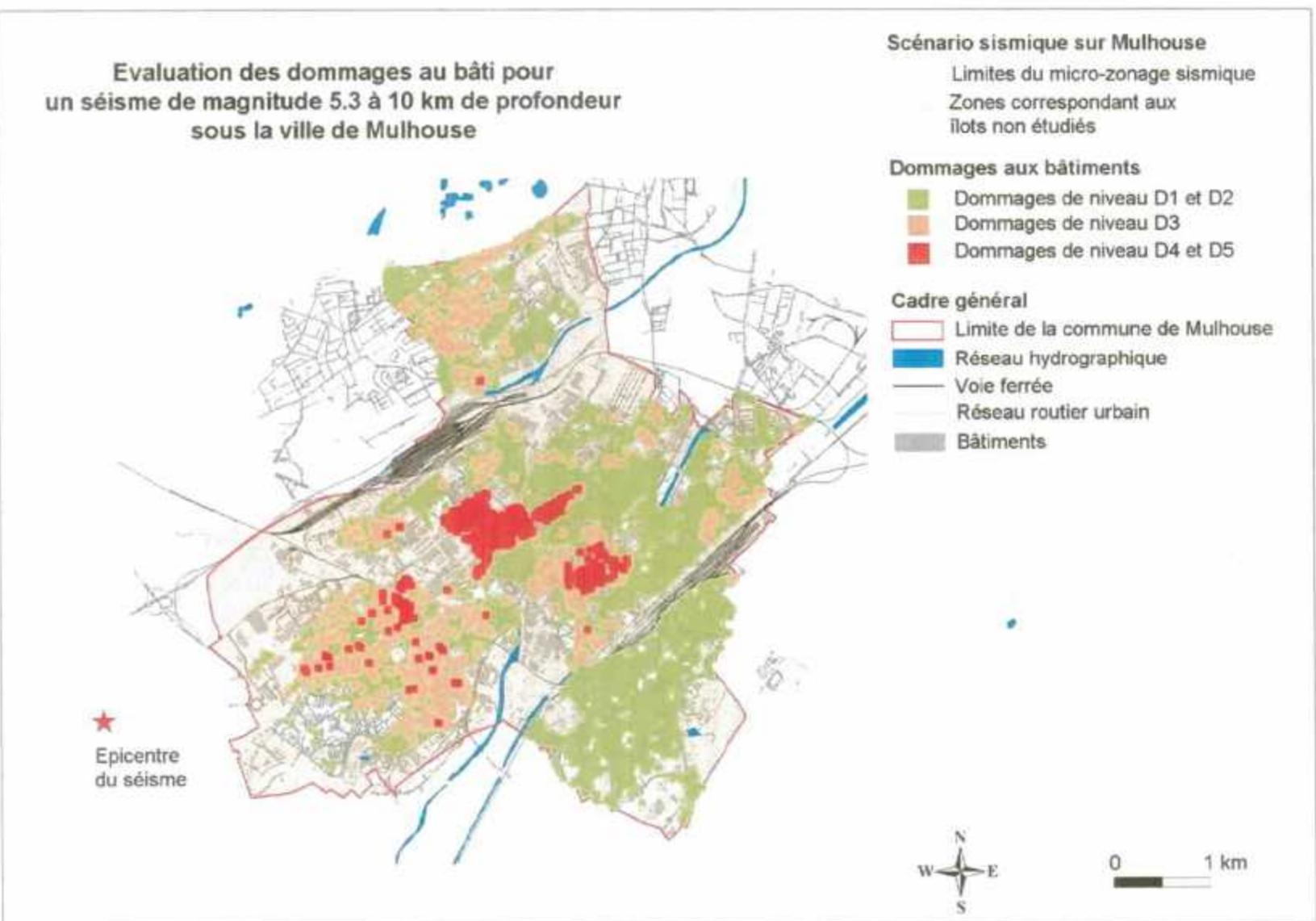


Figure 30 : Répartition des dommages D1, D2, D3, D4 et D5 sur la commune de Mulhouse

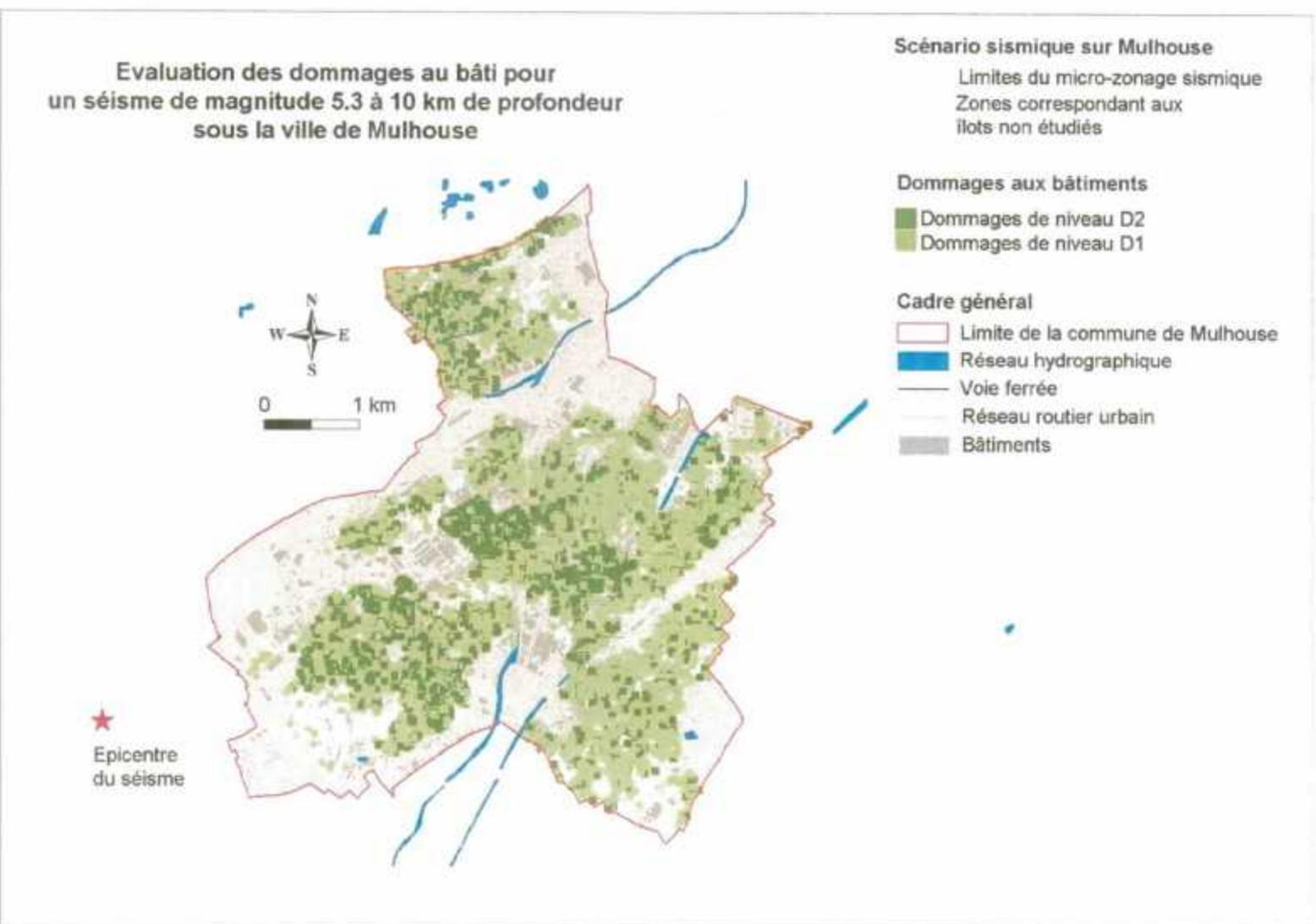


Figure 31 : Répartition des dommages D1 et D2 sur la commune de Mulhouse

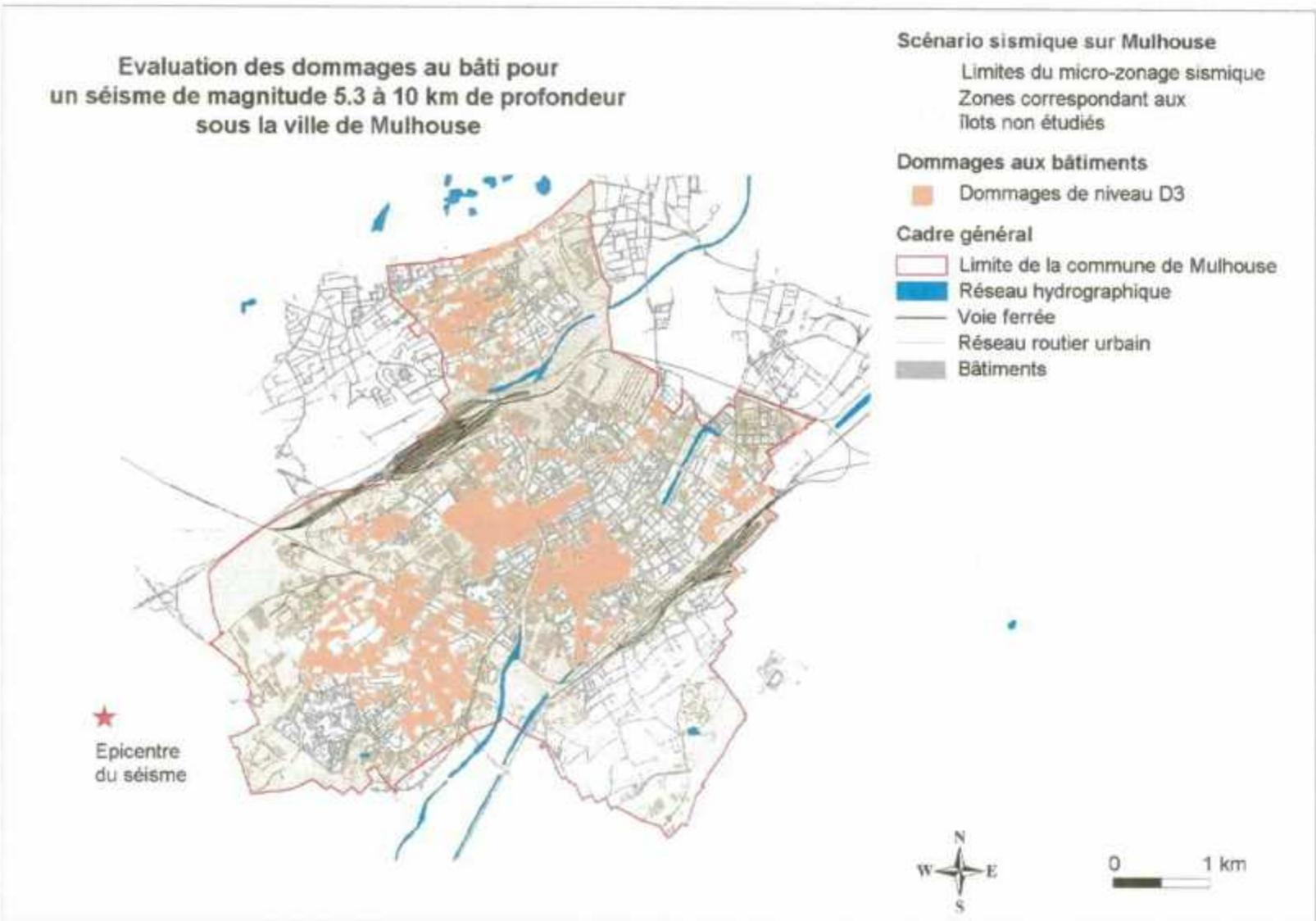


Figure 32 : Répartition des dommages D3 sur la commune de Mulhouse

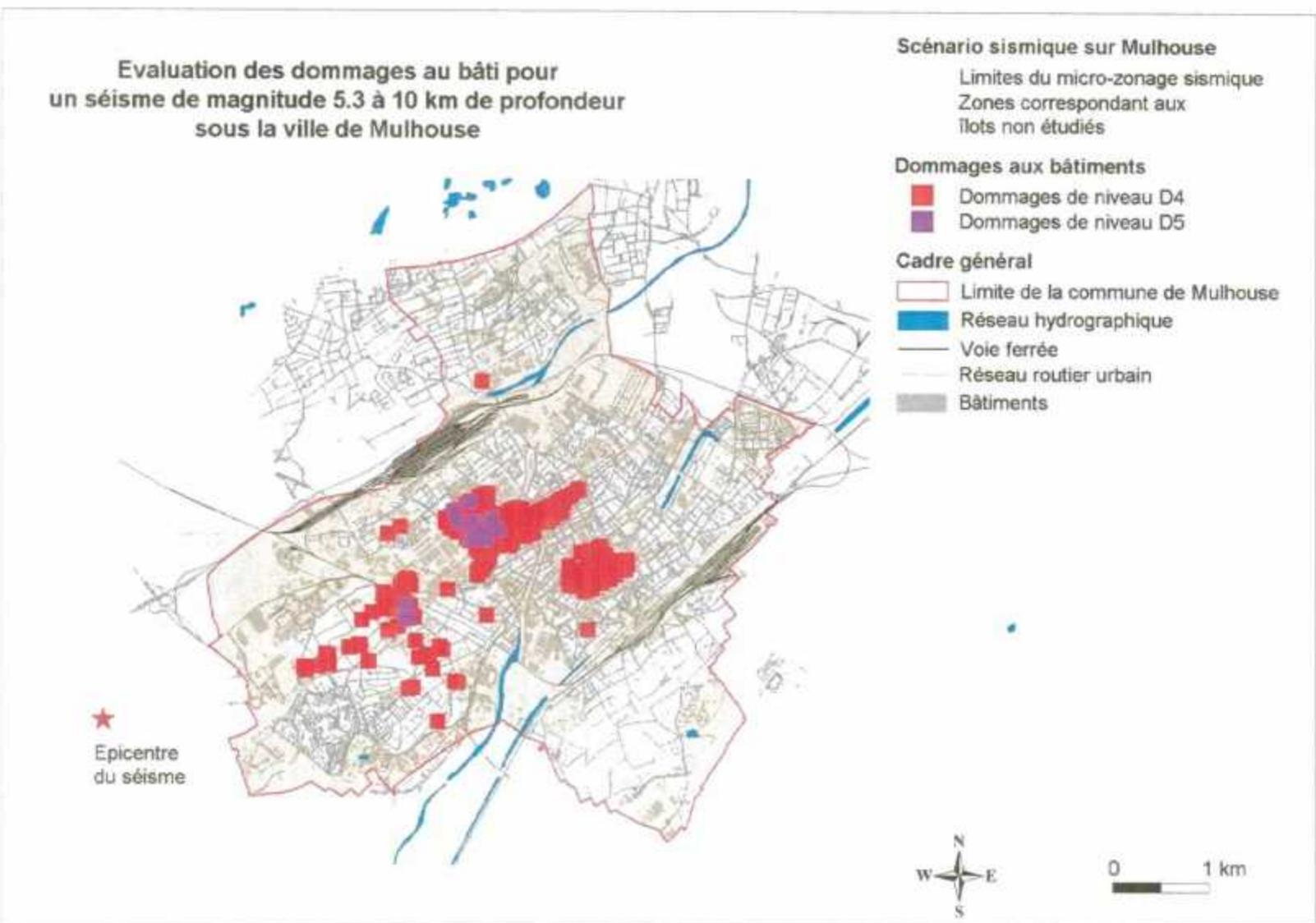


Figure 33 : Répartition des dommages D4 et D5 sur la commune de Mulhouse

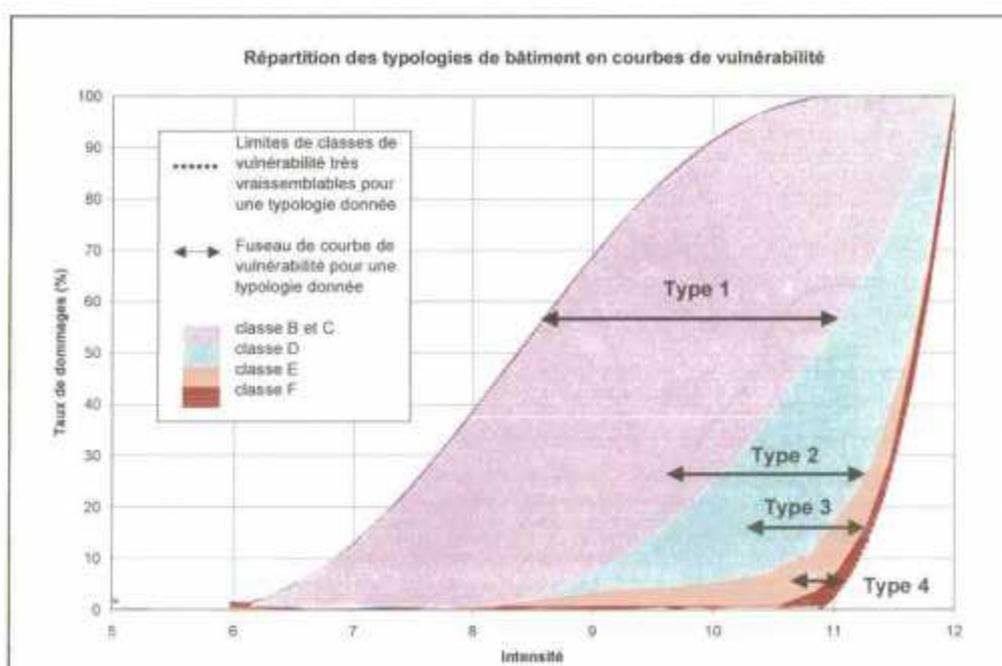
## Incertitudes d'évaluation des dommages aux bâtiments

### Calcul théorique des dommages

Pour le séisme de référence, une étude de sensibilité a été réalisée sur les hypothèses de vulnérabilité du bâti.

Trois niveaux de vulnérabilité ont été retenus :

Vulnérabilité mini, moyenne et maxi, celles-ci correspondant aux enveloppes des courbes de vulnérabilité :



Les dommages correspondants pour les bâtiments sont les suivants :

	Vulnérabilité		
	Mini	Moyenne	Maxi
D0	9 000	6 000	3 000
D1	5 000	5 500	6 000
D2	2 400	3 500	4 700
D3	700	1 800	2 700
D4	20	300	700
D5	0	10	30

Bâtiments d'habitation

	Vulnérabilité		
	Mini	Moyenne	Maxi
D0	16 500	11 000	7 200
D1	6 000	8 000	9 000
D2	2 800	5 000	6 000
D3	400	1 500	3 000
D4	15	250	500
D5	0	2	5
non connu	51 138	51 138	51 138

Bâtiments autres

Les dommages par type de bâtiment sont présentés ci-dessous :

	Vulnérabilité		
	Mini	Moyenne	Maxi
D0	337	185	69
D1	612	405	178
D2	2329	1461	583
D3	888	1680	2434
D4	34	455	905
D5		14	31
Total	4200	4200	4200

Répartition des dommages pour les bâtiments de type B

	Vulnérabilité		
	Mini	Moyenne	Maxi
D0	1180	749	299
D1	4071	2632	1132
D2	1486	2608	3780
D3	94	804	1518
D4		38	102
D5			
Total	6831	6831	6831

Répartition des dommages pour les bâtiments de type C

	Vulnérabilité		
	Mini	Moyenne	Maxi
D0	10426	6748	2941
D1	2667	5009	7437
D2	92	1379	2713
D3		49	94
D4			
D5			
Total	13185	13185	13185

Répartition des dommages pour les bâtiments de type D

	Vulnérabilité		
	Mini	Moyenne	Maxi
D0	1702	1542	1356
D1	22	170	357
D2		12	11
D3			
D4			
D5			
Total	1724	1724	1724

Répartition des dommages pour les bâtiments de type E

	Vulnérabilité		
	Mini	Moyenne	Maxi
D0	228	227	223
D1		1	5
D2			
D3			
D4			
D5			
Total	228	228	228

Répartition des dommages pour les bâtiments de type F

**Remarque :**

Les chiffres présentés dans les tableaux de synthèse sont arrondis, afin de ne pas donner une fausse illusion de précision. Ils sont à considérer comme des ordres de grandeur.

**Incertitudes sur les résultats**

Deux facteurs d'incertitude peuvent être identifiés :

- la représentativité des courbes de vulnérabilité utilisées,
- la conformité de tous les bâtiments à la typologie retenue.

Les courbes de vulnérabilité utilisées correspondent à un modèle statistiquement représentatif, calé sur une très grande diversité typologique de bâtiments. La typologie des bâtiments mulhousiens est réalisée selon les modèles proposés mais leur vulnérabilité n'est qu'approchée par les courbes de vulnérabilité des EMS 98. Une assez forte imprécision demeure donc sur les résultats obtenus. On peut toutefois admettre que l'étude de sensibilité faite sur les enveloppes mini et maxi des courbes de vulnérabilité permet d'évaluer l'imprécision des résultats.

L'ensemble des bâtiments d'un type est considéré dans l'étude comme homogène par rapport à la vulnérabilité. Il s'agit là d'un postulat discutable, dans la mesure où des modifications de structure peuvent avoir été faites et avoir renforcé ou fragilisé considérablement un édifice. Il est donc possible que quelques édifices aient une vulnérabilité physique complètement atypique, ne correspondant pas à leur typologie. S'agissant d'un phénomène ponctuel, il est difficile de le prendre en compte dans une étude dont les résultats sont statistiques. Les conséquences de l'occurrence d'un tel événement seront examinées au paragraphe concernant la pertinence des résultats.

## 5.4. CALCUL DU NOMBRE DE MORTS ET DE BLESSES DANS LES BATIMENTS

### 5.4.1. Méthodologie

Le calcul des dommages à la population nécessite :

- d'affecter la population à chaque bâtiment, en fonction de sa nature (habitation ou autre) et de l'heure (nuit ou jour), à partir des données concernant le bâti,
- d'évaluer le nombre de personnes dans des bâtiments d'un niveau de dommages donné à partir des calculs de dommages effectués pour un événement sismique et du nombre de personnes par bâtiment,
- d'estimer les dommages aux personnes à partir de grilles résultant d'analyses statistiques de dommages humains liés aux séismes.

Ces calculs sont effectués à partir d'hypothèses ou de données dont la variabilité doit être examinée. L'incertitude sur les résultats doit être étudiée.

De plus, les résultats obtenus doivent être analysés, afin d'examiner leur pertinence. En effet, ils sont le résultat d'analyses statistiques dont les résultats ne peuvent être retenus que si ils sont représentatifs.

Sont présentés ci-dessous :

- Le calcul de la répartition de la population par type de bâti,
- La répartition de la population dans les bâtiments endommagés,

Pour chacun de ces calculs, des analyses sur l'incertitude des données et des résultats sont réalisées. Une analyse spécifique est menée sur la sensibilité des résultats à la magnitude du séisme.

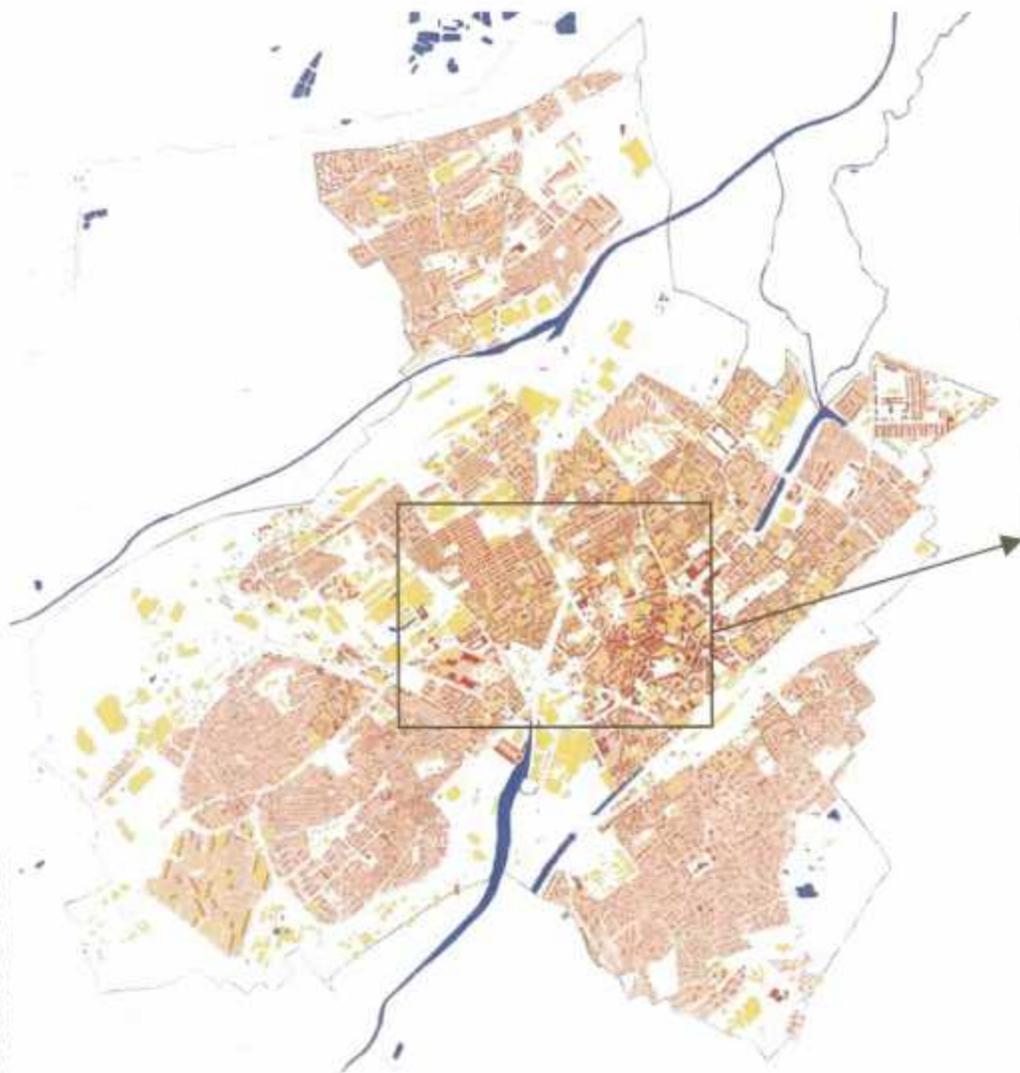
Enfin, la pertinence des résultats obtenus est analysée.

### 5.4.2. Données disponibles

Les données utilisées pour le calcul du nombre de morts et de blessés sont les suivantes :

- Population totale de Mulhouse, source INSEE (1999) : 110 919 personnes
- Polygones représentant des ensembles de bâtiment (îlot) et population associée (BD Topo IGN)
- Nombre de bâtiments et nature (source mairie) :

Tous les bâtiments de la ville de Mulhouse	Nombre de bâtiments	Surfaces (m <sup>2</sup> )
bâtiments d'habitation	18 503	2 064 764
bâtiments autres	10 141	1 921 085
soit au total	28 644	3 985 849



0 500 m

**Figure 34 : Usages des bâtiments étudiés**

**Bâtiments**  
(BD Topo IGN)

- Bâtiments à usage d'activité
- Bâtiments à usage d'habitation

**Ilots**

- Ilot INSEE (1999)
- Ilots étudiés en terme de vulnérabilité du bâti

- Limite de la commune
- Hydrographie

- Vulnérabilité du bâti, hors grandes usines (source cabinet Simonet)

Bâtiments avec affectation d'une vulnérabilité	Nombre de bâtiments	Surfaces (m <sup>2</sup> )
bâtiments d'habitation	17 243	1 844 986
bâtiments autres	8 920	657 220
soit au total	26 163	2 502 206

### 5.4.3. Répartition de la population par type de bâti

#### *Répartition de la population de nuit*

#### Calcul de la répartition

La totalité de la population de Mulhouse (110 919 personnes) est affectée dans les bâtiments à usage d'habitation (soit 18 500 bâtiments représentant une superficie de 2 064 000 m<sup>2</sup>).

Parmi les 110 919 habitants :

- 109 049 personnes sont réparties dans les îlots ayant été étudiés en terme de vulnérabilité du bâti ;
- 1 870 personnes sont réparties dans les zones non étudiées dans l'étude du cabinet Simonet, car représentant surtout des complexes industriels, commerciaux et d'activité, mais avec quelques habitations.

La population correspondant aux îlots dont la vulnérabilité a été évaluée est répartie dans la zone étudiée selon le principe ci-dessous :

$$\text{Population dans un bâtiment d'habitation} = \frac{\text{Nombre de personnes dans l'îlot}}{\text{Nombre de bâtiments dans cet îlot}}$$

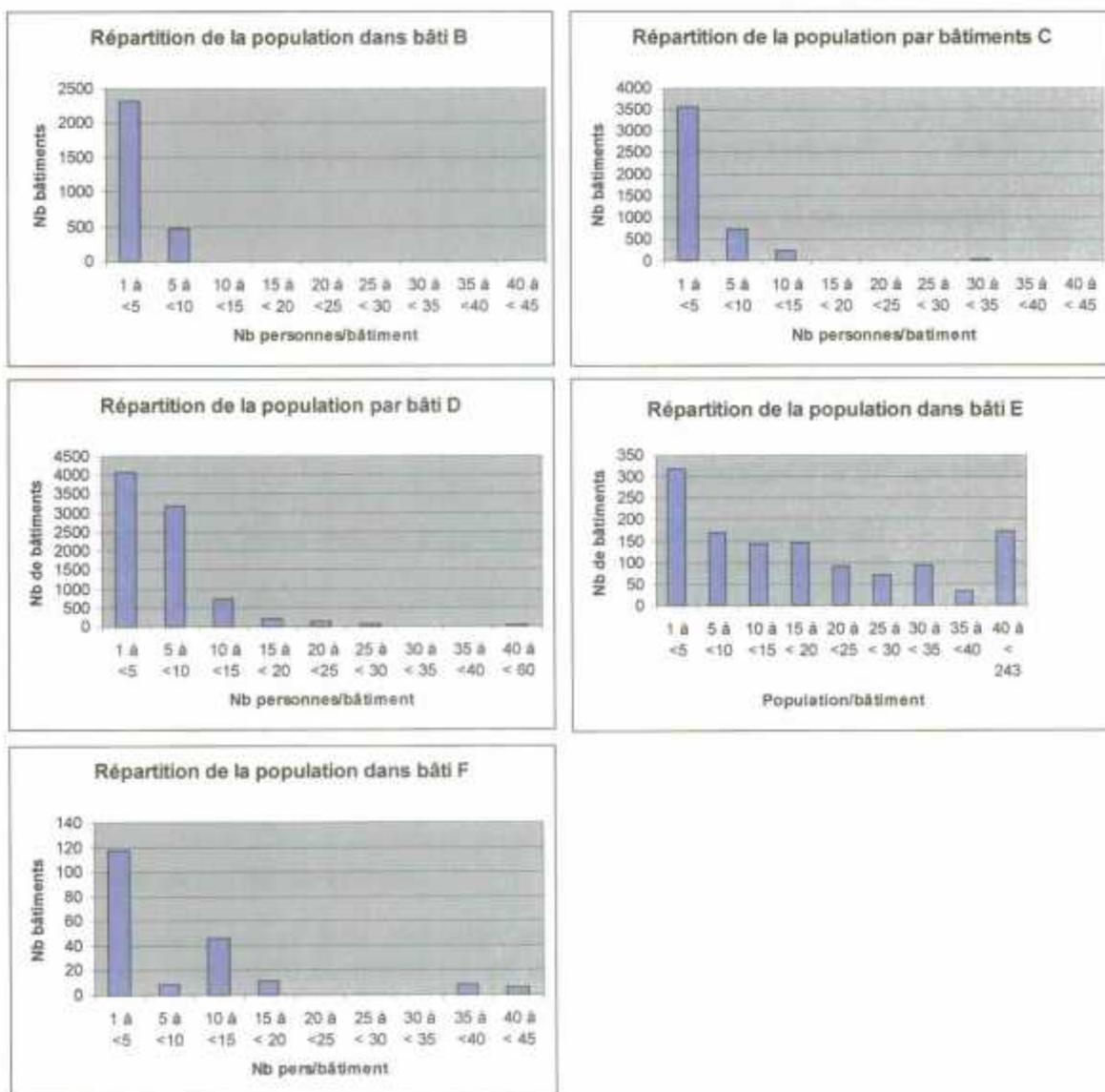
Les 1870 personnes habitant dans des bâtiments dont la vulnérabilité n'est pas connue, seront réparties lors des calculs sur les bâtiments d'habitation. La répartition sera effectuée au prorata de la répartition des bâtiments par niveau de dommage (par ex. si 70% des bâtiments sont de niveau D0, 70% des 1870 personnes seront considérées comme étant dans des bâtiments de ce type).

Sur ces bases, la répartition de la population par type de bâti est la suivante :

Type de bâtiment	Nb bâtiments	Nb personnes	Nb pers moyen/bâtiment	Répartition
B	4200	8 540	2	8%
C	6830	18 548	3	17%
D	13185	52 626	4	48%
E	1724	27 557	16	25%
F	228	1 694	7	2%

La vulnérabilité des bâtiments étant décroissante de B vers F, seule une faible part de la population (8%) se trouve dans les bâtiments les plus vulnérables.

Le nombre de personnes par bâtiment, en fonction des types de bâtiment est le suivant :



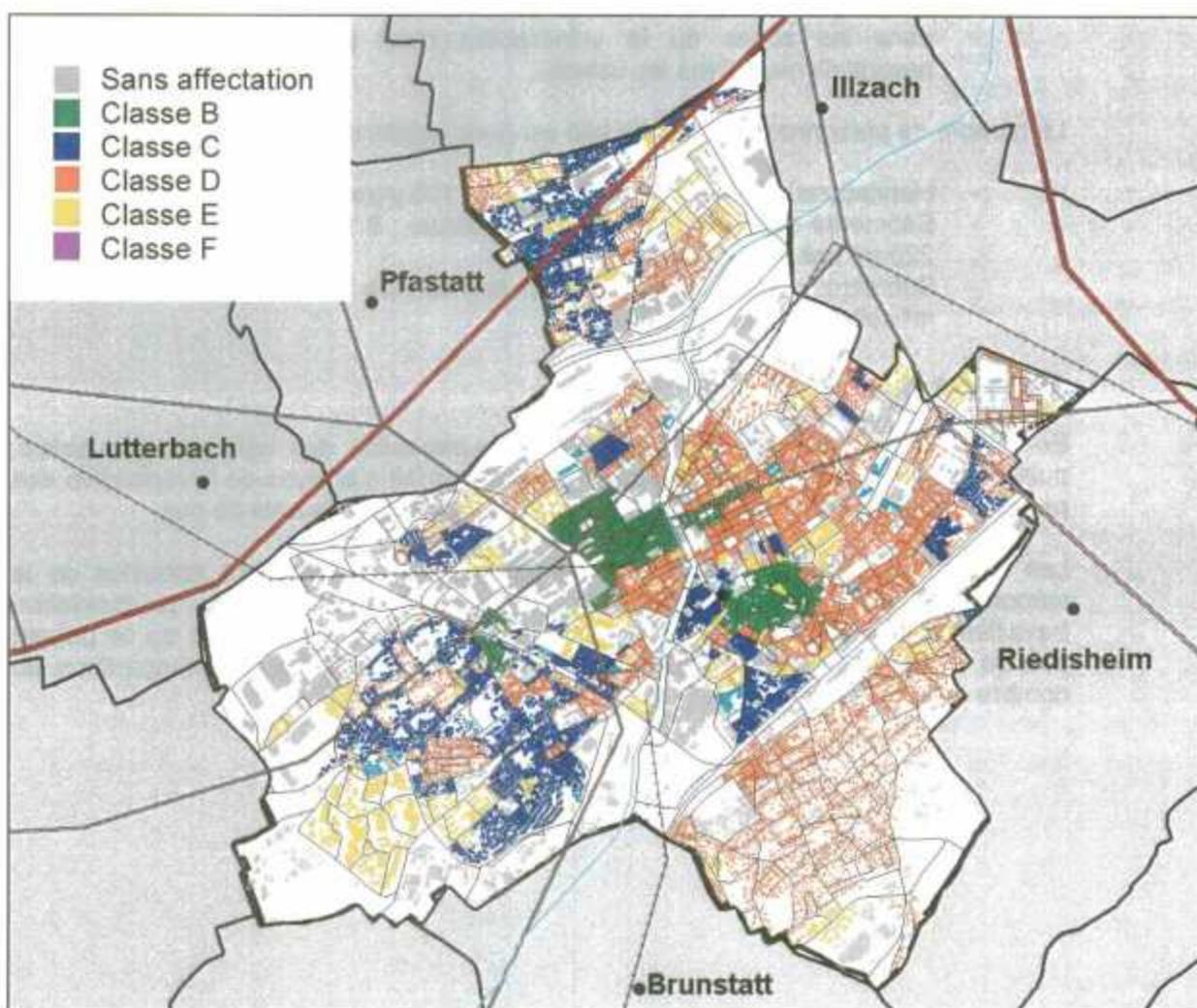
Les bâtiments B, C et D sont des bâtiments de petite dimension, qui ont majoritairement de 1 à 5 habitants.

Les bâtiments E sont des bâtiments ayant de nombreux habitants.

### Incertitudes sur l'attribution de la population a un type de bâti

La carte ci-dessous présente la répartition géographique du bâti par classe de vulnérabilité.

- Il est possible d'observer que le bâti B est presque totalement concentré sur deux zones, sans association avec un autre type de bâti. L'incertitude liée à l'attribution de la population d'un îlot au bâti B est donc faible.
- Le bâti C est plus disséminé et la population peut, pour une faible partie (certains îlots de Dornach), avoir été affectée dans des bâtiments D ou inversement.
- La répartition de la population sur les autres classes de bâti est assez homogène par îlot et l'incertitude sur l'affectation de la population par type de bâti est faible.



### **Répartition de la population de jour**

Il a été considéré que dans la journée, 30 % de la population répartie précédemment de nuit reste dans les habitations.

La population se trouvant dans les bâtiments autres que d'habitation est donc estimée à 70% de la population totale de Mulhouse.

Elle est répartie géographiquement au prorata des surfaces de bâtiments qui ne sont pas des habitations.

Pour cela, une densité moyenne de population active est calculée, puis affectée à chaque bâtiment :

Densité de population active =  $110\,919 \times 0,7 / 1\,921\,085$  soit une densité de 0,04 hab/m<sup>2</sup>

Cette densité est appliquée à chacun des bâtiments à usage d'activité :

- dans les zones où la vulnérabilité est connue
- dans les zones où la vulnérabilité n'est pas connue, c'est à dire essentiellement dans les usines.

Le nombre de personnes par type de bâti est donc ventilé de la façon suivante :

- Habitations : 30% de 1 921 085 soit 34 108 personnes,
- Bâtiments d'activité à vulnérabilité connue : 8 920 bâtiments, surface 657 220 m<sup>2</sup> soit 25 673 personnes
- Bâtiments d'activité à vulnérabilité non connue : 1220 bâtiments, 1 263 865 m<sup>2</sup> soit 51 138 personnes

### **Remarque :**

En raison de la très forte incertitude sur la vulnérabilité des bâtiments industriels, puisqu'elle est inconnue pour l'essentiel, il n'est pas fait d'analyse de la répartition des personnes par type de bâtiment, comme pour l'étude des bâtiments de nuit.

Les résultats des calculs de dommages de jour seront fortement entachés de la méconnaissance de la vulnérabilité des principaux bâtiments industriels. La population travaillant dans ceux-ci est estimée à 50% de la population de la ville ce qui ne permet pas de considérer comme pertinente une étude de sensibilité sur la répartition du nombre de personnes de jour.

#### 5.4.4. Nombre de personnes par niveau de dommages dans les bâtiments

Le nombre de personnes situées dans les bâtiments, par niveau d'endommagement, est calculé à partir des données présentées plus haut. Les résultats sont les suivants :

##### Calcul du nombre de personnes

##### De Nuit

	Vulnérabilité		
	Mini	Moyenne	Maxi
D0	75 584	56 890	36 471
D1	23 947	31 244	39 970
D2	9 244	15 718	22 865
D3	2 077	6 033	9 488
D4	67	990	2 064
D5	0	44	61
<b>TOTAL</b>	<b>110 919</b>	<b>110 919</b>	<b>110 919</b>

Nombre de personnes dans les bâtiments par niveau d'endommagement

##### De jour

	Vulnérabilité		
	Mini	Moyenne	Maxi
D0	39 701	28 814	18 425
D1	13 368	17 447	21 483
D2	5 623	9 515	12 834
D3	1 056	3 411	5 827
D4	33	579	1 189
D5	0	16	24
non connu	51 138	51 138	51 138
<b>Total</b>	<b>110 919</b>	<b>110 919</b>	<b>110 919</b>

#### ***Incertitudes sur les données présentées***

Les tableaux ci-dessus cumulent les incertitudes sur la répartition de la population par type de bâti et sur l'évaluation des dommages du bâti.

Les incertitudes sur la répartition des personnes par type de bâti est assez faible, comme cela a été présenté plus haut.

Les incertitudes sur l'endommagement du bâti par type est exprimée par l'étude de sensibilité sur la vulnérabilité.

Il n'est pas tenu compte du comportement d'un ou plusieurs bâtiments atypiques. Ce cas sera évoqué dans le paragraphe concernant la pertinence des résultats.

#### 5.4.5. Calcul du nombre de morts et de blessés

##### *Méthode de calcul*

Les données statistiques disponibles concernant le nombre de morts et de blessés dus à un séisme sont fournies par Hazus<sup>11</sup> et Coburn<sup>12</sup> selon une échelle définie par Coburn.

Coburn fournit des informations pour les morts et les blessés situés dans des bâtiments effondrés D5. Hazus fournit une grille de dommages pour tous les niveaux de dommages au bâti, de D1 à D5.

La description des préjudices humains est faite de la façon suivante :

Niveaux de dommages aux personnes	Description des niveaux de dommages aux personnes
<b>Niveau 1 : P1</b>	Blessures nécessitent une aide médicale légère, sans entraînant d'hospitalisation
<b>Niveau 2 : P2</b>	Blessures nécessitant une aide médicale soutenue et une hospitalisation, mais n'entraînant pas nécessairement une menace Pour la vie de la personne
<b>Niveau 3 : P3</b>	Blessures graves entraînant immédiatement une menace pour la vie de la personne si elles ne sont pas traitées suffisamment tôt. La majorité de ces blessures sont le résultat d'un effondrement total de l'édifice, et
<b>Niveau 4 : P4</b>	Mort immédiate ou blessures mortelles

Les grilles proposées par Hazus et Coburn pour les préjudices humains dans les D5 sont les suivantes :

D5	% Coburn	% Hazus
Morts P4	23.98 %	2.00 %
Blessés graves P3	6.00 %	2.00 %
Blessés légers hospitalisés P2	6.00 %	10.00 %
Blessés légers P1	4.00 %	50.00 %
Non blessés	60.01 %	36.00 %
Total	100.00 %	100.00 %

<sup>11</sup> Federal Emergency Management Agency (1997) – Earthquake Loss Estimation Methodology. HAZUS 97 Technical Manual Volume III.

<sup>12</sup> "Factors determining human casualty levels in earthquake : Mortality prediction in building collapse" A.W. Coburn, R.J.S. Spence et A. Pomonis.

Les valeurs retenues pour l'étude correspondent aux plus forts taux de dommages de chacune des grilles pour les extrêmes c'est à dire :

- les valeurs Hazus pour les personnes indemnes,
- les valeurs Coburn pour les morts et les blessés graves.
- Les valeurs de Coburn pour les blessés légers hospitalisés ont été retenues, par souci d'homogénéité des analyses statistiques des auteurs,
- L'ajustement à 100% des valeurs retenues a été effectué sur les blessés légers non hospitalisés.

D5	% Coburn	% Hazus	Proposé
Morts P4	23.98 %	2.00 %	23.98 %
Blessés graves P3	6.00 %	2.00 %	6.00 %
Blessés légers hospitalisés P2	6.00 %	10.00 %	6.00 %
Blessés légers P1	4.00 %	50.00 %	28.02 %
Non blessés	60.01 %	38.00 %	38.00 %
Total	100.00 %	100.00 %	100.00 %

La grille HAZUS, pour les bâtiments D1 à D4, se présente de la façon suivante :

	D1	D2	D3	D4	D5
P0 : Absence de dommages	99.945%	99.560%	97.800%	88.000%	36.000%
P1 : Blessures requérant des soins ne nécessitant pas l'hospitalisation	0.050%	0.400%	2.000%	10.000%	28.020%
P2 : Blessures requérant une hospitalisation, mais sans que la vie soit en danger	0.005%	0.040%	0.200%	2.000%	6.000%
P3 : blessure nécessitant un soin immédiat et mettant la vie en danger	0.000%	0.000%	0.002%	0.020%	6.000%
P4 : décès	0.000%	0.000%	0.002%	0.020%	23.980%
	100.00%	100.00%	100.00%	100.04%	100.00%

Hormis les blessés et les morts, l'une des conséquences graves et difficile à gérer des séismes, est représentée par les sans abris.

Ceux-ci sont évalués sur la base de 100% des habitants des bâtiments D5 et D4, qui sont par définition inhabitables, et de 50% des habitants des bâtiments D3. Cette dernière valeur est issue des constatations expérimentales post séisme. Elle ne tient pas compte de la possibilité de répliques qui ont généralement pour conséquences de mettre l'ensemble de la population hors de son logement.

### **Incertitudes sur les grilles proposées**

Des seuils d'incertitude sont proposés par Coburn pour le niveau D5. Ils prennent en compte la vitesse d'intervention des secours, la hauteur des bâtiments et la nature du bâti (béton ou maçonnerie).

Les valeurs de Hazus n'indiquent pas de fourchettes. Hazus souligne dans son texte le faible nombre de données disponibles sur les préjudices humains dans les bâtiments non détruits. Qualitativement on peut sans doute souligner que l'incertitude sur le pourcentage de dommages dans des bâtiments de niveau D1 à D4 est grande.

Par ailleurs, les données disponibles sur les dommages dus à des séismes de faible à moyenne intensité, entraînant donc principalement des dommages D1 à D4, sont rares. Ce sont surtout les gros séismes qui sont sources de données.

On a donc étudié l'impact sur les résultats que pourraient avoir d'autres taux de préjudices humains dans les bâtiments D2, D3 et D4, afin de chercher à obtenir une enveloppe maximale de préjudices humains et surtout d'évaluer la sensibilité des résultats aux hypothèses de calcul.

Les taux de morts et blessés graves dans les bâtiments D2, D3 et D4 ont été ramenés à des valeurs de l'ordre du dixième de %, le taux de blessés légers P1 et P2 dans les bâtiments D2 et D3 a été doublé.

Le choix de ces valeurs est discutable et n'a d'autre objet que d'évaluer la sensibilité des résultats aux valeurs retenues.

	D1	D2	D3	D4	D5
P0	99.95%	98.90%	93.60%	87.00%	36.00%
P1	0.05%	1.00%	5.00%	10.00%	28.02%
P2	0.01%	0.10%	1.00%	2.00%	6.00%
P3	0.00%	0.00%	0.20%	0.50%	6.00%
P4	0.00%	0.00%	0.20%	0.50%	23.98%
	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Pour la grille proposée, les résultats sont les suivants, selon que la vulnérabilité du bâti est plus ou moins grande :

P4 = Morts	44	28	4
P3 = Blessés graves	33	20	4
P2 = Blessés légers hospitalisés	165	100	33
<b>Total blessés hospitalisés</b>	<b>198</b>	<b>120</b>	<b>37</b>
P1 = Blessés légers non hospitalisés	947	586	215
Sans abris	6 811	4 015	1 100
Population exposée dans le	110 919	110 919	110 919
P0 = Population indemne	109 730	110 186	110 662

Il faut observer qu'il y a une très forte variabilité des résultats selon la vulnérabilité du bâti.

## 5.5. DYSFONCTIONNEMENTS ENVISAGEABLES

La liste des dysfonctionnements possibles identifiés n'est qu'indicative. Elle est le fruit de quelques interviews menées auprès des acteurs de la gestion des risques.

Afin de disposer d'une analyse vraiment pertinente, il serait nécessaire d'évaluer la vulnérabilité physique des éléments supports des fonctions et examiner leur capacité à fonctionner en mode dégradé.

La liste ci-dessous doit donc être considérée comme un support critique d'analyse :

- D'importants dysfonctionnements pourraient provenir de l'endommagement du centre de secours principal dont la vulnérabilité physique n'est pas évaluée,
- La gare SNCF représente une source de danger potentielle et une possibilité de transport importante. Quelle est sa vulnérabilité physique, sa capacité à fonctionner en mode dégradé?
- Les systèmes d'alerte des usines peuvent-ils fonctionner après un événement sismique (vulnérabilité physique à l'événement, indépendance par rapport à d'autres systèmes tels que électricité ou télécom),
- Vulnérabilité des Transports de Matières Dangereuses au risque sismique, vulnérabilité induite des captages,
- Vulnérabilité des Télécom à la saturation, à l'endommagement physique, conséquences sur d'autres fonctions,
- L'approvisionnement en eau du quartier de l'hôpital peut-il être affecté, les industries peuvent elles être privées pour tout ou partie d'eau, quelles conséquences cela peut-il avoir ?
- Les abris de confinement prévus dans le plan MOCAMU sont-ils parasismiques ?
- Les usines Seveso construites antérieurement à 1993, n'ont pas d'obligation réglementaire d'être parasismiques. Quelles pourraient être les conséquences d'évènements de magnitude 5,1 à 5,8 sur ces usines ?
- La présence d'une importante population immigrée ne parlant pas français à Mulhouse pourrait induire des difficultés pour les secours si il n'y a pas de procédure de traduction envisagée.

## 6. Sensibilité des résultats à la magnitude du séisme et pertinence des résultats

### 6.1. SENSIBILITE DES RESULTATS A LA MAGNITUDE

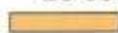
Les dommages au bâti pour différentes magnitudes sont les suivants :

Résultats du scénario loi d'atténuation : Sadigh 1997 Profondeur focale : 10 km	Acc rocher (m.s <sup>-2</sup> )	Acc effets site (m.s <sup>-2</sup> )	Intensité max	D0 : Dommages nuls			D1 : Dommages faibles		
				Vulnérabilité maximale	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité minimale	Vulnérabilité maximale	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité minimale
Magnitude = 5.1	1 - 1.4	1.2 - 2.3	VIII	7000	11200	15500	8800	7700	6800
Cas de base Magnitude = 5.3	1.2 - 1.8	1.4 - 2.6	VIII-IX	4900	9500	14000	9100	8200	7300
Magnitude = 5.5	1.4 - 1.8	1.6 - 3	VIII-IX	4000	8200	12500	8700	8000	7800
Cas extrême Magnitude = 5.8	1.7 - 2.3	1.9 - 3.6	IX	3200	6700	10000	7000	7600	8400

Résultats du scénario loi d'atténuation : Sadigh 1997 Profondeur focale : 10 km		D2 : Dommages modérés			D3 : Dommages importants		
		Vulnérabilité maximale	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité minimale	Vulnérabilité maximale	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité minimale
Magnitude = 5.1		6400	4800	3200	3300	2000	660
Cas de base Magnitude = 5.3		7100	5600	4000	4000	2500	960
Magnitude = 5.5		7400	6000	4400	4500	3000	1400
Cas extrême Magnitude = 5.8		8000	6600	5000	5200	3600	2100

Résultats du scénario loi d'atténuation : Sadigh 1997 Profondeur focale : 10 km		D4 : Effondrement partiel			D5 : Effondrement total		
		Vulnérabilité maximale	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité minimale	Vulnérabilité maximale	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité minimale
Magnitude = 5.1		700	360	1	2	1	0
Cas de base Magnitude = 5.3		1000	500	35	30	15	0
Magnitude = 5.5		1400	780	150	130	75	0
Cas extrême Magnitude = 5.8		2300	1300	360	340	170	0

28 656 bâtiments

 : cas de base

Vulnérabilité physique du bâtiment :

- Vulnérabilité maximale : courbe de vulnérabilité pessimiste
- Vulnérabilité moyenne : courbe de vulnérabilité moyenne
- Vulnérabilité minimale : courbe de vulnérabilité optimiste

Les préjudices humains pour différentes magnitudes sont les suivants :

	M5		
	Vain Min	Vain moy	Vain Maxi
D0	81 902	63 979	45 879
D1	20 215	28 542	35 958
D2	7 528	13 070	20 256
D3	1 270	4 585	7 389
D4	3	739	1 436
D5	0	3	2

	M4		
	Vain Min	Vain moy	Vain Maxi
D0	69 453	50 182	30 433
D1	26 884	33 481	39 633
D2	11 351	18 363	26 221
D3	2 922	7 068	11 189
D4	308	1 690	3 197
D5	0	135	246

	M3		
	Vain Min	Vain moy	Vain Maxi
D0	60 047	41 791	24 210
D1	30 475	32 760	36 201
D2	14 811	23 282	30 422
D3	4 885	9 773	14 252
D4	702	2 946	5 086
D5	0	367	748

L'impact de ces événements en termes de préjudices humains est présenté dans le tableau ci-dessous :

	M3	M4	M5	M6
P4 = Morts	3-20	4-45	7-100	15-230
P3 = Blessés graves	3-20	4-30	7-50	15-100
P2 = Blessés légers hospitalisés	20-120	30-160	50-220	80-320
<b>Total blessés hospitalisés</b>	20-140	30-190	50-270	100-420
P1 = Blessés légers non hospitalisés	150-730	200-1000	300-1200	500-1700
Sans abris	600 - 5000	1000-7000	1700-9000	3000-13000

## 6.2. ANALYSE CRITIQUE DE LA PERTINENCE DES RESULTATS

La pertinence des résultats obtenus dépend des paramètres susceptibles de les faire varier et des données disponibles

### 6.2.1. Les paramètres

Les principaux paramètres d'un événement sismique influant sur les préjudices humains sont :

- la magnitude,
- les effets de site,
- la vulnérabilité du bâti,
- la répartition de la population.

La sensibilité des résultats à la magnitude a été mesurée et les résultats mettent en évidence une très grande sensibilité à ce paramètre. Si la période de retour d'un séisme de magnitude 5,1 à 5,5 est de 475 ans par contre, celle d'un séisme de magnitude 5,8 est d'environ 950 ans<sup>13</sup>.

Les effets de site ont fait l'objet d'un microzonage de niveau A, c'est à dire relativement peu détaillé. Il est donc possible que des effets de site ponctuels non identifiés dans cette étude puissent être observés et engendrent des dommages à quelques bâtiments. Compte tenu du faible nombre de bâtiments gravement endommagés recensés dans notre étude (de 0 à 30), quelques bâtiments supplémentaires augmenteraient significativement les préjudices humains. Il n'est toutefois pas possible d'évaluer quel pourrait être le nombre de bâtiments affectés par des événements ponctuels.

La vulnérabilité du bâti a fait l'objet d'une analyse présentée dans le texte ci-dessus. Comme pour le microzonage, le caractère global et statistique de l'étude ne permet pas d'identifier la vulnérabilité atypique d'un ou de plusieurs bâtiments. Si certains bâtiments sont fragilisés, ils peuvent être gravement endommagés par un événement sismique, bien au-delà des évaluations de dommages faites dans cette étude. Là encore il n'est pas possible d'évaluer quel pourrait être le nombre de bâtiments affectés par un tel comportement.

La répartition de la population de jour a été faite de façon très approximative, sans tenir compte de migrations de et vers la commune, ni de la répartition de celle-ci sur les lieux de travail à partir de données fournies par les entreprises. Compte tenu du fait que la vulnérabilité des entreprises ne fait pas l'objet de cette étude, il n'était pas pertinent d'étudier avec soin la répartition de la population sur les lieux de travail. Les résultats présentés en cas de séisme de jour sont donc à analyser en ayant présents à l'esprit les dommages possibles dans les usines.

---

<sup>13</sup> Deliverable 4.1 : First Appraisal of Seismotectonic in Southern Upper Rhine Graben, Winter T. and Niviere B. Projet SAFE (2002)

### 6.2.2. Les données

Les données utilisées dans cette étude sont des données dites de « niveau A », c'est à dire qu'elle permettent une évaluation statistique des conséquences d'un événement sismique, mais qu'en aucun cas elles ne peuvent permettre d'évaluer les risques de destruction d'un bâtiment en particulier.

Les données permettant d'établir une relation entre les dommages au bâti et les préjudices humains sont essentiellement calées à partir de données issues de forts séismes comportant une part importante de bâtiments détruits. L'utilisation de ces données dans le cas d'un séisme de moyenne intensité est délicate car la représentativité des données utilisées est marginale. Les données concernant les préjudices humains dans des bâtiments D4 manquent particulièrement.

### 6.2.3. Conclusions

En raison des fortes incertitudes pesant sur les résultats obtenus, il est nécessaire de présenter une large gamme de résultats, afin de représenter au mieux le spectre des conséquences possibles.

Le tableau ci-dessous représente les conséquences d'un événement sismique et ne présente donc pas les conséquences éventuelles d'une autre magnitude que 5,3.

Prenant en compte la sensibilité des résultats à de plus forts taux de dommages humains que les grilles proposées par la bibliographie, on peut penser que ces résultats intègrent pour partie la possibilité d'occurrence de dommages ponctuels, non évalués statistiquement.

	En Nuls
<b>P4 = Morts</b>	4-45
<b>P3 = Blessés graves</b>	4-30
<b>P2 = Blessés légers hospitalisés</b>	30-160
<b>Total blessés hospitalisés</b>	40-190
<b>P1 = Blessés légers non hospitalisés</b>	200-1000
<b>Sans abris</b>	1000 - 7000
<b>Population exposée</b>	111 000
<b>P0 = Population indemne</b>	108 000 - 110 000

## **Bibliographie**

Ambraseys N.N., Simpson K. and Bommer J.J., 1996. Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earth. Eng. Struct. Dyn.*, Vol 25, p. 371-400.

Armagedom : outil de simulation de séisme, créé au BRGM

Coburn A.W., Spence R.J.S. et Pomonis A. - Factors determining human casualty levels in earthquake : Mortality prediction in building collapse. *Earthquake Engineering, Tenth World Conference (1992)*

European Macroseismic Scale, 1998 – Cahier du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 15. Editor G. GRÜNTAL.

Federal Emergency Management Agency (1997) – Earthquake Loss Estimation Methodology. HAZUS 97 Technical Manual Volume III

Simonet F. et Marçot N. (2003) – Commune de Mulhouse : vulnérabilité du bâti – Rapport BRGM RP52761FR ;

Mouroux P. et Thierry P. (2003) – Microzonage sismique du bassin de Mulhouse, rapport BRGM RP52754FR.

Murphy J.R., O'Brien L.J., 1997 – The correlation of peak ground acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters – *Bull. Seism. Soc Am.*, Vol. 67, n°3.

Nivière B. et Winter T., 2000 – Pleistocene northward fold propagation of Jura within the southern Upper Rhine Graben. *Seismotectonic implications, Global and Planetary Changes*, 27, 1-4, 263-288.

Winter T. et Nivière B., 2002 – SAFE (Slow active fault in Europe) – Deliverable 4.1 : First Appraisal of seismic Hazard in Southern Upper Rhine Graben

## Liste des annexes

Annexe 1 : Traitement des données pour le calcul du scénario.....	73
Annexe 2 : Liste des personnes contactées pour l'identification des enjeux et de leur vulnérabilité .....	74

## Liste des illustrations

### FIGURES

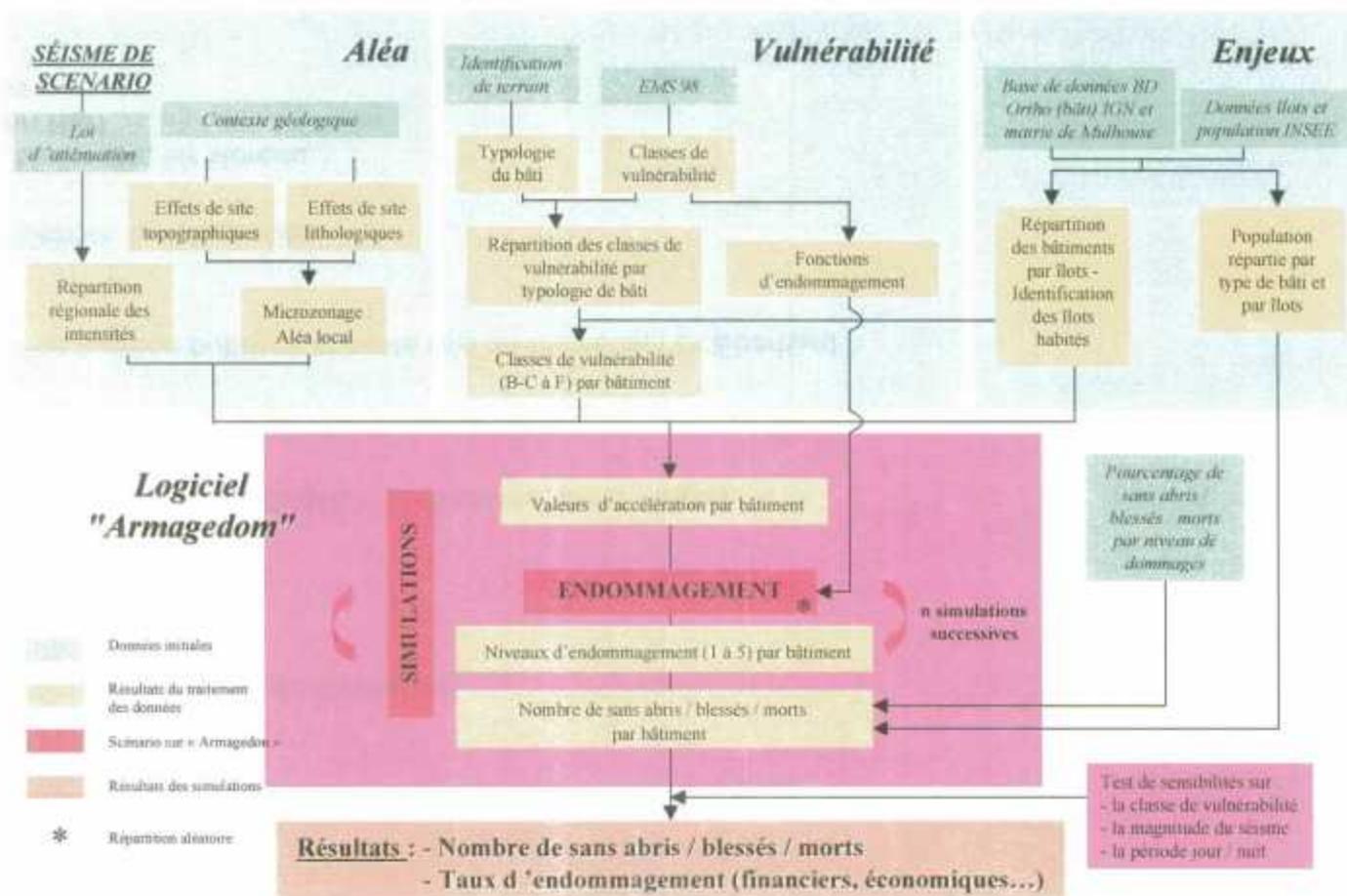
Figure 1 : Méthodologie de réalisation d'un scénario sismique.....	8
Figure 2 : Différentes étapes préalables à la réalisation d'un scénario de séisme .....	10
Figure 3 : Modèle morphostructural du Sundgau (Winter T. et Nivière B. – 2002) .....	11
Figure 4 : Incertitudes sur les zones de dommages majeurs du séisme de Bâle (1356).....	12
Figure 5 : Microzonage sismique réalisé sur Mulhouse et sa région (réalisé d'après le rapport BRGM RP52754FR - Mouroux P. et Thierry P.).....	14
Figure 6 : Principaux enjeux industriels du Haut Rhin et centres de secours.....	17
Figure 7 : Principaux enjeux de la ville de Mulhouse .....	18
Figure 8 : Typologie des constructions sur la commune de Mulhouse .....	20
Figure 9 : Répartition des habitations dans Mulhouse par date de construction .....	21
Figure 10 : Affectation d'une vulnérabilité dans les îlots d'habitation .....	22
Figure 11 : Différenciation des structures (bâtiments) dans les classes de vulnérabilité (EMS- 98).....	23
Figure 12 : Relations entre la typologie du bâtiment, les éléments structuraux et l'affectation d'une classe de vulnérabilité à un bâtiment (Simonet, 2003) .....	24
Figure 13 : Répartition de l'urbanisation sur la ville de Mulhouse et vulnérabilité du bâti .....	25
Figure 14 : Courbes de vulnérabilité pour les bâtiments de type 1, 2, 3 et 4 .....	26
Figure 15 : Répartition géographique des habitations selon leur typologie .....	27
Figure 16 : Différentes étapes pour la réalisation d'un scénario de séisme .....	30
Figure 17 : Localisation du séisme de scénario sur une carte de sismicité historique de la région (Nivière et Winter, 2000) .....	31
Figure 18 : Différentes mesures de distance R entre un séisme et un site d'observation .....	33
Figure 19 : Carte des accélérations au rocher pour un séisme de magnitude 5.3 sous la ville de Mulhouse.....	34
Figure 20 : Corrélations proposées par différents auteurs entre l'intensité macrosismique et le pic d'accélération horizontale du sol (d'après J.R. Murphy et L.J. O'Brien). .....	35
Figure 21 : Carte des intensités au rocher pour un séisme de magnitude 5.3 sous la ville de Mulhouse.....	37
Figure 22 : Méthodologie de calcul des paramètres physiques .....	38
Figure 23 : Carte des accélérations sur la région de Mulhouse .....	39
Figure 24 : Carte des intensités sur la région de Mulhouse et plus particulièrement sur la ville de Mulhouse.....	40
Figure 25 : Exemples de dommages aux constructions pour des bâtiments en maçonnerie (EMS-98).....	42
Figure 26 : Exemples de dommages aux constructions pour des bâtiments en béton armé (EMS-98).....	43

Figure 27 : Courbes de probabilité de dommages en fonction du niveau de dommages, pour une intensité donnée (équivalentes aux courbes de fragilité – Hazus).....	44
Figure 28 : Synthèse de la méthodologie d'utilisation des paramètres physiques pour l'évaluation des dommages .....	45
Figure 29 : Fonction d'impact représentant la répartition en % des dommages aux bâtis en fonction de l'accélération pour un bâtiment de classe de vulnérabilité D.....	46
Figure 30 : Répartition des dommages D1, D2, D3, D4 et D5 sur la commune de Mulhouse .....	48
Figure 31 : Répartition des dommages D1 et D2 sur la commune de Mulhouse.....	49
Figure 32 : Répartition des dommages D3 sur la commune de Mulhouse.....	50
Figure 33 : Répartition des dommages D4 et D5 sur la commune de Mulhouse.....	51
Figure 34 : Usages des bâtiments étudiés.....	56

## TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques de l'événement de référence.....	29
Tableau 2 : Evaluation de l'intensité à partir de la valeur d'accélération au rocher .....	36
Tableau 3 : Description du type de dommages aux bâtiments communaux de classe D et aux bâtiments courants de classe B (d'après les réglementations EMS-98).....	41
Tableau 4 : Répartition des classes de vulnérabilité par typologie de bâtiment .....	46
Tableau 5 : Dommages au bâti issus d'une simulation de séisme sur Mulhouse.....	47

## Annexe 1 : Traitement des données pour le calcul du scénario



BRGM, juin 2003

## **Annexe 2 : Liste des personnes contactées pour l'identification des enjeux et de leur vulnérabilité**

### **SIDPC**

- Melle Wiest

### **SDIS Mulhouse**

- Lt Col Goepfert

### **Ecole supérieure de chimie de Mulhouse,**

- Mr Walter

### **CAMSA et ville de Mulhouse**

- Sce Dev. Durable CAMSA, Mr Reduron, Mme Pawlas,
- Sce des eaux ville de Mulhouse, Mr Finck
- Sce hygiène publique et santé ville de Mulhouse, Dr Eberhard

### **DRIRE**

- Colmar, Mr Menessiez
- Mulhouse, Mr Moreau

### **Association Hari**

Mr Kontzler