Projet GE.RI.A Prise en Compte des Risques Naturels Gestione Rischi Ambientali

Phase 3 « Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit"

Proposition d'une méthodologie et exemple d'application

Rédigé sous la responsabilité de N. Marçot

> janvier 2001 BRGM/RP 50690 FR



Mots clés : vulnérabilité, dommages, bâti, séisme, scénario de rsique En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : N. Marçot, (2000) - Projet GE.RI.A - Prise en compte des risques naturels - Gestione Rischi Ambientali - Phase 3 "Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit" Proposition d'une méthodologie et exemple d'application. Rap. BRGM RP 50690 FR. Pages 96. Figures 29. Tableaux 3. © BRGM, 2001. Ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM

Synthèse

L'interprété de l'Interre de l'

Son objectif est la réalisation d'un système commun franco-italien d'analyse et d'évaluation des risques naturels à l'échelle communale qui tient compte à la fois des expériences italiennes et françaises.

Sa finalité est de tendre vers une gestion commune transfrontalière des risques naturels tant au niveau de la prévention que de la gestion de crise.

Il concerne une partie de la bande côtière des Alpes-Maritimes et de la région Ligure. Celle-ci s'étend sur environ 100 km de long et 15 km de profondeur, de Villefranche sur Mer en France à Cervo en Italie.

Le projet se déroule en quatre phases : un inventaire des données concernant le risque, l'organisation de celles-ci en base de données à structure commune franco-italienne, en vue de la réalisation d'un scénario de risque, pour proposer un programme commun franco-italien de protection et de prévention.

Le présent rapport est intégré dans la phase 3 du projet, c'est à dire dans la phase de réalisation du scénario de risque sismique, et plus particulièrement dans la collecte des éléments nécessaires à la réalisation du scénario.

Ce rapport est une étude bibliographique sur l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit. Il propose une méthodologie et un exemple d'application sur trois quartiers de la ville de Nice, dont la typologie des bâtiment étudiée dans le cadre du projet Gémitis Nice¹ a servi de référence pour le projet Geria.

La méthodologie retenue est celle issue de l'« European Macrosismic Scale 1992 ». Elle propose une analyse de la vulnérabilité du bâti d'habitation et du bâti commercial à partir d'une description du bâtiment sur des critères simples. Cette analyse de la vulnérabilité permet de construire des courbes d'endommagement et d'évaluer une probabilité de dommage en fonction d'une intensité donnée, ou d'une accélération.

Cette méthodologie appliquée, sur trois quartiers de la ville de Nice, donne des résultats homogènes avec la répartition du bâti existant. Les dommages étant exprimés en probabilité de dommages.

Projet Gemitis Nice: analyse de la vulnérabilité (bâti courant et bâtiments stratégiques communaux). Mise en place des éléments pour les scénarios de risque. Rapport BRGM R40229.

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels –Gestione Rischi Ambientali – Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit. Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

4

Sommaire

SYNTHÈSE	3
INTRODUCTION	7
1. EVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ DU MILIEU CONSTRUIT D'APRÈS L'ÉCHELLE EMS-92	
1.1. MÉTHODE D'AFFECTATION D'UNE CLASSE DE VULNÉRABILITÉ	9
1.1.1. Evaluation de la vulnérabilité du milieu construit à partir des EMS-	929
1.1.1.1 Notion de classe de vulnérabilité	
1.1.1.2 Définition des courbes d'endommagement	10
1.1.2. Relations entre les classes de vulnérabilité et la description des dom	
de bâtiments	
1.1.2.1 Critères de vulnérabilité associés aux types de constructions	
1.1.2.2 Définition des niveaux de dommages	
1.2. APPLICATION DE LA MÉTHODE À LA VILLE DE NICE ET AU PROJET GERIA	
1.2.1. Description du bâtiment et affectation d'une classe de vulnérabilité.	
1.2.2. Fonctions d'endommagement	
1.2.3. « Fuseaux » de vulnérabilité appliqués au bâti	∠ŏ
1.2.4. Construction des courbes d'endommagement	
1.3. Vulnérabilité des bâtiments de classe C	 27
1.3.1. Critères de base (V1)	
1.3.2. Facteurs de vulnérabilité (V2)	3.8
1.3.3. Transposition des valeurs de vulnérabilité en courbes EMS 92	39
2. MISE EN PLACE DE SCÉNARIOS SUR TROIS QUARTIERS DE NI PARTIR DE LA MÉTHODE EMS-92	
2.1. MÉTHODOLOGIE	
2.1.1. Données utilisées	
2.1.2. Mise en place du scénario	
2.2. PRESENTATION DES RESULTATS	43
3. EVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ DU MILIEU CONSTRUIT COMPARAISON DE DIFFÉRENTES MÉTHODES D'APPROCHE	
3.1. La MÉTHODOLOGIE HAZUS (1997)	49
3.1.1. Méthodologie	
3.1.1.1 Courbes de capacité	
3.1.2. Application de la méthode	52 50
J. 1. S. SPHIEBHIUM WE WHILIBUME	

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels –Gestione Rischi Ambientali – Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit. Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

dans Gémitis Nice et Geria	
3.1.2.2 Construction des courbes de fragilité Hazus selon la typologie uti	ilisée
dans Gémitis Nice et Geria	
3.2. LA MÉTHODOLOGIE DE COCHRANE ET SCHAAD (1992)	
3.3. LA MÉTHODOLOGIE DE SPENCE ET AL. (1992)	67
3.4. LA MÉTHODOLOGIE DE BENEDETTI (1988)	
CONCLUSION	73
BIBLIOGRAPHIE	75
LISTE DES FIGURES	77
LISTE DES TABLEAUX	79
LISTE DES ANNEXES	79
ANNEXES	81

Introduction

Le projet GERIA (Gestion des Risques Naturels) à vocation transfrontalière a pour objectif la réalisation d'un système commun franco-italien d'analyse et d'évaluation des risques naturels à l'échelle communale, qui tienne compte à la fois des expériences italiennes et françaises.

Celui-ci doit permettre aux responsables de la protection civile et de l'aménagement du territoire de prendre en compte les risques naturels en intégrant les particularités de la situation transfrontalière.

Ce projet est exécuté dans le cadre du Programme INTERREG IIA Mesure 2-1 France-Italie, initiative communautaire pour la coopération transfrontalière.

Il est finance:

- en France, par l'Union Européenne, le Conseil Régional Provence Alpes Côte d'Azur, le Conseil Général des Alpes Maritimes et le BRGM dans le cadre de ses opérations de service public,
- en Italie, par l'Union Européenne et la Région Ligure.

Les collectivités locales partenaires du projet sont :

- pour la partie française : Menton, Roquebrune-Cap-Martin, Beaulieu, Villefranche,
- pour la partie italienne : la Province d'Imperia, Vintimiglia, San Remo, Taggia et Cervo

Les opérateurs du projet sont :

- pour la partie française le BRGM,
- pour la partie Italienne : l'Université de Gêne : CIMA, DISEG, DISTER

L'ensemble des services de l'Etat et les communes concernées par le projet ont été informés de sa mise en œuvre.

Le présent rapport est intégré dans la phase 3 du projet, c'est à dire dans la phase de réalisation du scénario de risque sismique, et plus particulièrement dans la collecte des éléments nécessaires à la réalisation du scénario.

Il poursuit l'étude de vulnérabilité effectuée dans le cadre du projet Gémitis Nice, en affinant la méthodologie pour l'affectation des courbes de vulnérabilité, mettant ainsi en évidence les incertitudes dans l'évaluation des dommages.

La figure 1 ci-après définit dans le cadre du projet GE.RI.A les différentes étapes de réalisation d'un scénario de risque sismique. L'analyse de la vulnérabilité physique étant de définir des fonctions d'endommagement.

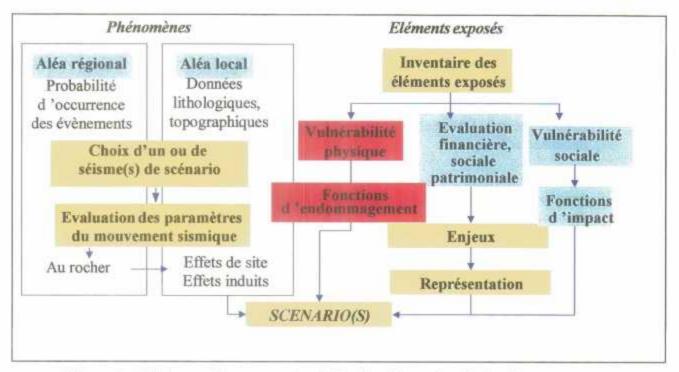


Figure 1 : Différentes étapes pour la réalisation d'un scénario de séisme

La méthodologie proposée reprend les résultats de l'"European Macrosismic Scale 1992" ou EMS-92 en ce qui concerne les types de structures du bâtiment et les classes de vulnérabilité utilisées.

Elle se compose de deux étapes :

<u>1^{ère} étape</u>: description des bâtiments sur des critères simples, à la fois structuraux et correspondant plus ou moins à des critères architecturaux propres aux secteurs géographiques (approche architecturale);

2^{ème} étape: définition de critères de vulnérabilité propres, en les associant aux critères choisis pour décrire le bâti lors de la première étape, et affectation de classes de vulnérabilité.

L'intérêt de ces deux étapes est de pouvoir détailler et affiner chacune d'entre elle sans intervenir sur la méthode.

1. Evaluation de la vulnérabilité du milieu construit d'après l'échelle EMS-92

1.1. METHODE D'AFFECTATION D'UNE CLASSE DE VULNERABILITE

1.1.1. Evaluation de la vulnérabilité du milieu construit à partir des EMS-92

1.1.1.1 Notion de classe de vulnérabilité

La description du bâtiment et principalement celle des éléments structuraux intervient dans le choix d'une classe de vulnérabilité pour une typologie donnée.

Une des premières échelles utilisées a été l'échelle MSK, en 1964. Cette échelle définit des classes de bâtiments par type de construction pour tenter d'exprimer la vulnérabilité de la construction.

Sur la base de l'échelle d'intensité MSK-64, les trois classes de bâtiments correspondent à des vulnérabilités différentes :

Type A: maison en argile, pisé, briques crues; maisons rurales; constructions en pierres tout venant.

Type B: constructions en briques ordinaires ou en blocs de béton; constructions mixtes maçonnerie - bois; constructions en pierres taillées.

Type C: constructions armées; constructions de qualité en bois.

Une nouvelle échelle est proposée en 1992 : l'échelle **EMS-92** (European Macrosismic Scale). Celle-ci a tenté de rapprocher les classes à une représentation directe de la vulnérabilité. Six classes de vulnérabilité décroissante (A-F) ont donc été proposées dans les EMS-92 :

- les trois premières A, B et C sont représentatives du comportement des constructions en maçonnerie, de type adobe, briques, pierres simples et les constructions en béton armé. Elles sont compatibles avec les trois premières classes A, B et C de l'échelle MSK-64;
- les classes D et E représentent approximativement une vulnérabilité qui décroît de façon linéaire en raison de l'augmentation du niveau de résistance au séisme (ERD: Earthquake Resistant Design) et sont représentatives du comportement des constructions de meilleure qualité de type maçonnerie renforcée, structures en acier..., résistant davantage aux séismes;
- la classe F représente une vulnérabilité pour des structures à haute résistance aux séismes comprenant des principes de construction à haut niveau de dispositions parasismiques.

L'échelle Macrosismique Européenne des intensités **EMS-92** dérive de l'échelle MSK-64. Elle utilise 6 classes différentes de bâtiments (au lieu de 3 pour MSK-64) correspondant donc à 6 <u>classes</u> de <u>vulnérabilité</u>:

Classe A: maçonnerie en pierraille tout-venant, maçonnerie en briques de terre (adobe).

Classe B: maçonnerie en pierres simples, maçonnerie en briques non armée, maçonnerie en blocs de béton.

Classe C: maçonnerie en pierres massives, maçonnerie en briques avec des planchers en béton armé, constructions en béton armé non calculée au séisme.

Classe D: maçonnerie en briques armée, constructions en béton armé avec un minimum de conception antisismique, constructions en bois.

Classe E: constructions en béton armé avec une conception antisismique modérée.

Classe F: constructions en béton armé avec une grande conception antisismique.

L'échelle EMS-92 dérive de l'échelle MSK-64, mais diffère par la définition des classes de bâtiments : la notion de capacité de résistance au séisme (classe de vulnérabilité) est donc introduite pour faire une différence, dans une même classe de bâtiments, entre les différentes structures calculées au séisme et celles qui ne l'ont pas été. Elles portent aussi sur la définition des quantités des habitations endommagées (peu, beaucoup, la plupart), où une incertitude est introduite sur l'intervalle de pourcentage de ces dernières.

1.1.1.2 Définition des courbes d'endommagement

Farsi² a étudié dans sa thèse l'identification des structures de Génie Civil à partir de leurs réponses vibratoires, appliquée à la vulnérabilité du bâti existant. Il propose plusieurs types de courbes (ou fonctions) empiriques de vulnérabilité aux séismes des bâtiments.

Les méthodes directes lient directement le taux de dommage du bâtiment à une donnée sismique qui est généralement l'intensité. Cependant nous verrons que pour ce qui concerne directement les dommages aux bâtiments, il est préférable de corréler le taux de dommage à l'accélération.

Chaque classe de vulnérabilité (par exemple la classe A) permet de construire trois courbes d'endommagement : une courbe minimum (A+), une courbe moyenne (A) et une courbe maximale (A-) en fonction du pourcentage de bâtiments endommagés (voir tableau 2) et à partir de la formule suivante :

Mohammed Naboussi FARSI (1992) Identification des structures de Génie Civil à partir de leurs réponses vibratoires. Vulnérabilité du bâti existant. Thèse, université Joseph Fourier – Grenoble 1.

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels - Gestione Rischi Ambientali - Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit.

Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

V = taux de dommages
Ni = pourcentage de
bâtiments endommagés
au degré (DR)i (Tabl.1)

$$V = \frac{\sum_{i=0}^{5} \text{Ni (DR)i}}{100}$$

(Karnik *et al.*, 1984)

Niveau de dommage DC	(dommages	2 (dommages assez importants)	` •	`	5 (effondrement total)
Pertes relatives DR (%) *	2	10	30	80	100

Tableau 1: Relation % dommages (DR) / Niveau de dommage (DC) (EMS-92, modifié). * Valeurs relatives moyennes : 1-0 à 5 % de pertes ; 2-5 à 20 % de pertes ; 3-20 à 55 % de pertes ; 4-55 à 90 % de pertes et 6-plus de 90 % de pertes.

L'échelle EMS-92 donne donc pour une intensité sismique et pour chaque classe de construction (A à F) donnée, le nombre de bâtiments endommagés pour tous les niveaux de dommages DC (1 à 5).

Par exemple, pour l'intensité VIII et pour la classe B (voir données encadrées cidessous), elle donne de 0 à 20 % de bâtiments endommagés au degré 4 et entre 20 et 60 % de bâtiments endommagés au degré 3.

Le tableau 2 ci-dessous a été complété en distribuant le reste des bâtiments (en supposant que la totalité des bâtiments se répartit sur l'ensemble des niveaux de dommages 0 à 5) à raison de 70 %, 20 % et 10 % sur les niveaux inférieurs quand l'échelle ne donne rien pour au moins 3 de ces mêmes niveaux inférieurs, 80 % et 20 % pour 2 niveaux inférieurs et, 100 % pour un seul niveau inférieur.

Les valeurs de taux de dommages issues des données EMS-92 sont donc calculées à partir de la formule de Karnik *et al.* (1984) et de la matrice de vulnérabilité ci-dessous.

Pour chaque intensité (de I à XII), et pour chaque classe de vulnérabilité (de A à F), trois valeurs de taux de dommage (V) sont calculées sous la forme d'un pourcentage :

- Une valeur moyenne "moy"
- Une valeur minimale "min"
- Une valeur maximale "max"

Min et Max correspondent à une fourchette de valeur (par exemple pour la classe A: Amin = A+ et Amax = A-)

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels –Gestione Rischi Ambientali – Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit. Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

	Classes de vulnérabilité											
Intensité	A		В		С		D		E		F	
	N (%)	DC	N (%)	DC	N (%)	DC	N (%)	DC	N (%)	DC	N (%)	D
V	100-a a	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0
	0,2w	0	1w	0	100-a	0	100	0	100	0	100	0
VI	0,8w	1	b	1	a	1	100000		1000000		375-151	
V1	b	2	а	2								
	a	3										
	0,1w	0	0,2w	0	1w	0	100-a	0	100	0	100	0
	0,2w	1	0,8w	1	b	1	a	4.				
VII	0,7w	2	b	2	а	2						
	b	3	а	3	200							
	а	4		710								
	0	0	0,1w	0	0,2w	0	1w	0	100-a	0	100	0
	0,1w	1	0,2w	1	0,8w	1	b	1	a	1		
VIII	0,2w	2	0,7w	2	b	2	a	2				
VIII	0,7w	3	b	3	а	3						
	b	4	a	4								
	a	5										
	0	0	0	0	0,1w	0	0,2w	0	1w	0	100-a	0
	0	1	0,1w	1	0,2w	1	0,8w	1	b	1	а	1
IX	0,1(100-b)	2	0,2w	2	0,7w	2	b	2	a	2		
IA	0,2(100-b)	3	0,7w	3	b	3	а	3	1			
	0,7(100-b)	4	b	4	а	4						
	b	5	а	5								
	0	0	0	0	0	0	0,1w	0	0,2w	0	1w	0
	0	1	0	1	0,1w	1	0,2w	1	0,8w	1	b	1
х	0,1(100-c)	2	0,1(100-b)	2	0,2w	2	0,7w	2	b	2	a	2
^	0,2(100-c)	3	0,2(100-b)	3	0,7w	3	b	3	a	3	100	
	0,7(100-c)	4	0,7(100-b)	4	b	4	а	4				
	С		b	5	а	5						
	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1w	0	0,2w	0
	0		0	1	0	1	0,1w	1	0,2w	1	0,8w	1
XI	0,1(100-c)		0,1(100-c)	2	0,1(100-b)	2	0,2w	2	0,7w	2	b	2
A	0,2(100-c)	3	0,2(100-c)	3	0,2(100-b)	3	0,7w	3	b	3	a	3
	0,7(100-c)	4	0,7(100-c)	4	0,7(100-b)	4	b	4	a	4		
	С	5	С	5	b	5	а	5				
XII	100	5	100	5	100	5	100	5	100	5	100	5

Tableau 2 : Pourcentage de bâtiments endommagés (N) au niveau des dommages (DC) correspondant à chaque degré d'intensité de l'échelle EMS-92 (modifié)

a = 0-20 % (peu); b = 20-60 % (beaucoup); c = 60-100 % (la plupart); w = 100-(a+b); z = 100-(b+c)

La figure suivante présente les six courbes de vulnérabilité issues des six classes de vulnérabilité des EMS-92 (Figure 2).

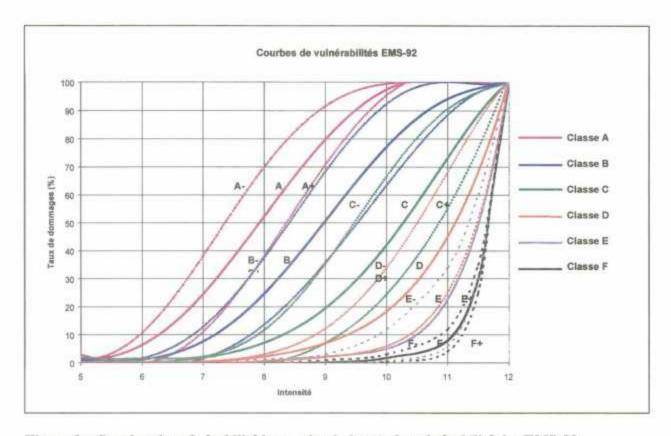


Figure 2 : Courbes de vulnérabilité issues des 6 classes de vulnérabilité des EMS-92

Les fonctions de vulnérabilité relatives à l'échelle EMS-92 lient le taux de dommages des constructions à l'intensité. Cette intensité sismique peut être estimée à partir de l'accélération horizontale par des formules empiriques : Murphy et O'Brien³ proposent quelques relations :

Log (Ah) =
$$0.24I + 0.57$$
 valable pour le sud de l'Europe Ah en cm/s²
Pour une accélération $0.15g$, on aura une intensité $I = 6.67$ soit $I = VII$

Les figures suivantes (figures 3 et 4) présentent les fonctions de vulnérabilité pour chaque classe de vulnérabilité (A à F) en fonction de l'accélération horizontale calculée à partir des formules ci-dessus.

La loi intensité – accélération utilisée dans l'étude Gémitis Nice permet de construire les fonctions de vulnérabilité en fonction de l'accélération au rocher (Figure 5) :

Murphy J.R., O'Brien L.J., the correlation of peak ground acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 67(3), pp. 877-915, June 1977.

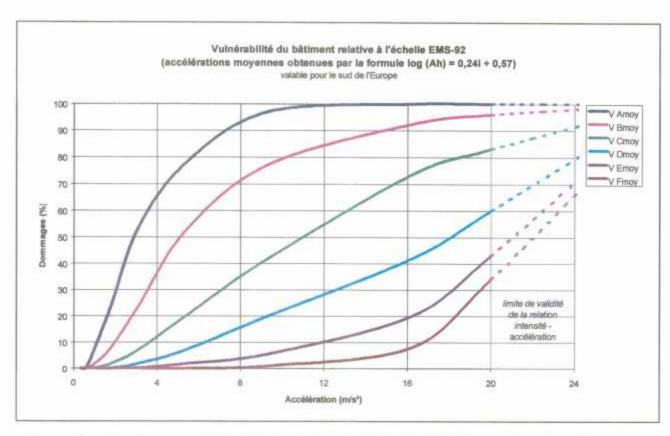


Figure 3: Courbes de vulnérabilité relatives à l'échelle EMS-92 en fonction de l'accélération horizontale (avec la loi log (Ah) = 0,24I + 0,57).

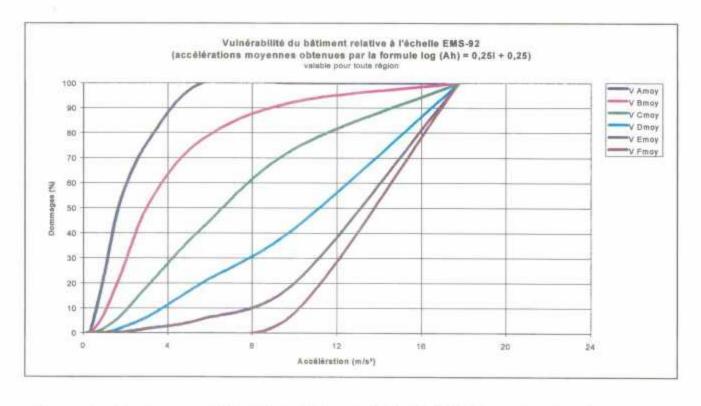


Figure 4 : Courbes de vulnérabilité relatives à l'échelle EMS-92 en fonction de l'accélération horizontale (avec la loi log(Ah) = 0.25I + 0.25).

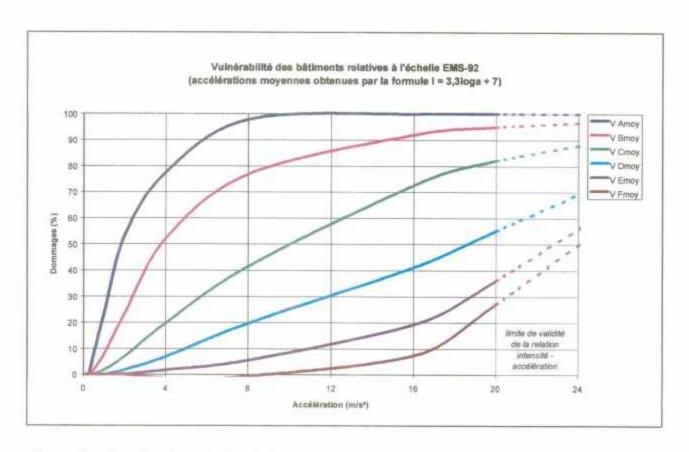


Figure 5 : Courbes de vulnérabilité relatives à l'échelle EMS-92 en fonction de l'accélération au rocher (avec la loi $I = 3,3\log a + 7$).

1.1.2. Relations entre les classes de vulnérabilité et la description des dommages de bâtiments

1.1.2.1 Critères de vulnérabilité associés aux types de constructions

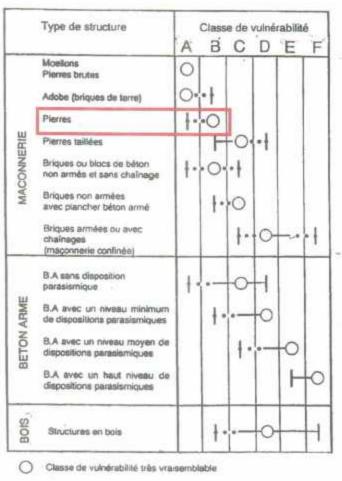
La classification des bâtiments fait intervenir 4 grands types de constructions : maçonnerie, béton armé, acier et bois.

A partir de cette distinction, les EMS-92 font évoluer chacune des classes de vulnérabilité depuis une classe de vulnérabilité très vraisemblable jusqu'à une étendue probable voir exceptionnelle, donnant alors une marge dans l'affectation d'une classe de vulnérabilité (Figure 6).

Pour un bâtiment construit avec une maçonnerie en pierre par exemple (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.

Un correspondance entre la typologie des bâtiments et les 6 classes de vulnérabilité des EMS-92 permet donc d'affecter plusieurs classes de vulnérabilité à une typologie donnée, à partir de la description des éléments structuraux.

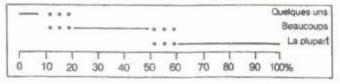
Figure 6: Différenciation des structures (bâtiments) dans les classes de vulnérabilité (EMS-92)



— Etendue probable

* * * Etendue la moins probable - cas exceptionnels

Définition des quantités

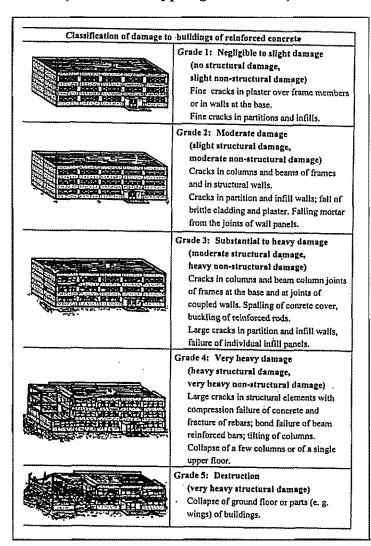


1.1.2.2 Définition des niveaux de dommages

Dans les EMS-92, l'évaluation des dommages se fait à partir de cinq niveaux de dommages 1 à 5.

Ces niveaux de dommage sont donc décrits en fonction du type de bâtiment. Pour les bâtiments en béton armé et en maçonnerie, l'échelle EMS-92 décrit les niveaux de dommage de la façon suivante (Figure 7) :

Dommages sur constructions en béton armé (concerne les typologies T3 et T4)



Dommages sur constructions en maçonnerie (concerne les typologies T1 et T2)

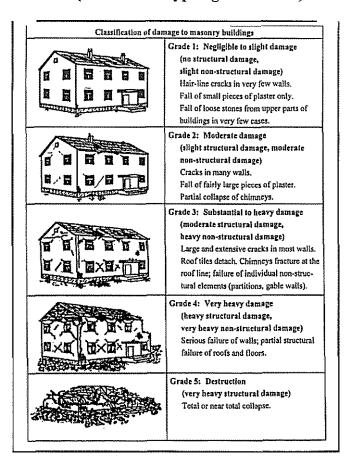


Figure 7: Définition des niveaux de dommages 1 à 5 (EMS-92)

Certains dommages sont caractéristiques d'un type de construction (béton armé, maçonnerie...), ou d'une structure particulière (mitoyenneté, rez-de-chaussée...). La figure suivante (figure 8) présente des dommages caractéristiques de bâtiments au séisme (pour les constructions en maçonnerie) :

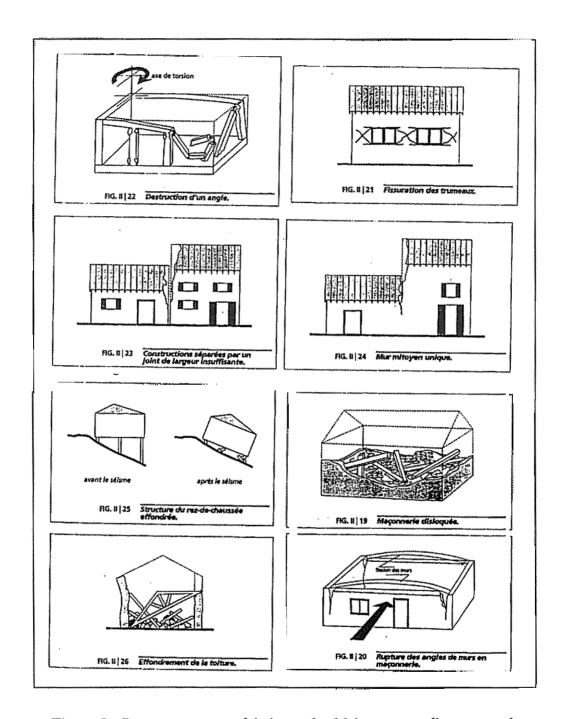


Figure 8 : Dommages caractéristiques des bâtiments au séisme, pour les constructions en maçonnerie (réunion AFPS, 1997)

1.2. APPLICATION DE LA METHODE A LA VILLE DE NICE ET AU PROJET GERIA

1.2.1. Description du bâtiment et affectation d'une classe de vulnérabilité

Le tableau page suivante (tableau 3) ainsi que l'annexe 3, présentent la relation entre la typologie du bâtiment, les éléments structuraux descriptifs du bâti sur la ville de Nice et sur la zone GE.RI.A, et l'affectation d'une classe de vulnérabilité.

Ainsi, selon la description T1, T2, T3, T4 et en reprenant la figure 6 : Différenciation des structures (bâtiments) dans les classes de vulnérabilité (EMS-92) :

- Le type T1 comprend des constructions en moellons et en pierres brutes de classe de vulnérabilité A, et des constructions en pierres voir exceptionnellement en adobe : briques de terre de classe de vulnérabilité B.

Les constructions en adobe (briques de terre) étant inexistantes dans les villes des Alpes Maritimes telles que Menton, on répartit également le bâtiment de type T1 selon deux critères, soit :

- 50 % de classe de vulnérabilité A (bâtiments en moellons et pierres brutes);
- 50 % de classe de vulnérabilité B (bâtiments en pierres).
- Le type T2 comprend des constructions en briques ou blocs de béton non armés et sans chaînage de classe de vulnérabilité B, des constructions en pierres taillées et en briques non armées avec plancher béton armé de classe de vulnérabilité C, des constructions en briques armées ou avec chaînage de classe de vulnérabilité D voir exceptionnellement des constructions en pierres de classe de vulnérabilité A, et des constructions en briques armées ou avec chaînage de classe de vulnérabilité F.

De la même façon que pour les bâtiments de type T1, dans l'absence de données complémentaires, on répartit également le bâtiment de type T2 selon quatre critères, soit :

- 25 % de classe de vulnérabilité B (bâtiments en briques ou blocs de béton non armés et sans chaînage);
- 50 % de classe de vulnérabilité C (dont 25 % de bâtiments en pierres taillées et 25 % de bâtiments en briques non armées avec des planchers en béton armé);
- 25 % de classe de vulnérabilité D (bâtiments en briques armées ou avec chaînages : maçonnerie confinée).

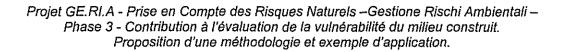


Tableau 3 : Typologie des bâtiments établie à partir d'une description architecturale des éléments structuraux

TYPOLOGIE		ELEMENTS DE DESCRIPTION	CRITERES DESCRIPTIFS		CRITERES DE VULNERABILITE (EMS-92)	CLASSES DE VULNERABILITE ASSOCIEES		
	(GE.RI.A.)	DU BATIMENT	(APPROCHE ARCHITECTURALE)		PROPRES A LA DESCRIPTION DU BATIMENT	Répartition par type de structures	Classe de vulnérabilité	Répartition par classe de vulnérabilité
L	T1	hourdée à chaux	Bâtiments très anciens en maçonnerie qui ont été bâtis avant 1862 et présentent des caractéristiques particulières que l'on rencontre dans le vieux Nice	A C O N	1- Moellons, pierres brutes	A défaut de plus d'informations, la répartition est faite de façon statistique et homogène		
0 G E M					2- Adobe (briques de terre) non utilisé dans les communes concernées 3- Pierres	1- 50 % 2- / 3- 50 %	1- Classe A 2- Classe A 3- Classe B	50 % classe A 50 % classe B
E N T S C	T2		Bâtiments anciens réalisés en maçonnerie qui correspondent au bâtiment type niçois construit entre 1862 et 1940	N E R I E	1- Pierres taillées 2- Briques ou blocs de béton non armés et sans chaînage 3- Briques non armées avec plancher béton armé 4- Briques armées ou avec chaînage (maçonnerie confinée)	1- 25 % 2- 25 % 3- 25 % 4- 25 %	1- Classe C 2- Classe B 3- Classe C 4- Classe D	25 % classe B 50 % classe C 25 % classe D
0 L L E C T	Т3	Ossature en béton armé et remplissage en maçonnerie industrielle Constructions en béton banché	Bâtiments en béton armés réalisés après la guerre jusqu'en 1969 (date estimée)	B E T O N	1- Béton armé sans disposition parasismique 2- Béton armé avec un minimum de dispositions parasismiques	1- 50 % 2- 50 %	1- Classe C 2- Classe D	50 % classe C 50 % classe D
- L 0	T4	Béton armé et chaînages horizontaux et verticaux systématiques	Bâtiments réalisés depuis 1969 (date estimée) et suivant les règles de construction parasismiques	A R M E	Béton armé avec un niveau moyen de dispositions parasismiques Béton armé avec un haut niveau de dispositions parasismiques	1- 50 % 2- 50 %	1- Classe E 2- Classe F	50 % classe E 50 % classe F
				1- Moellons, pierres brutes 2- Adobe (briques de terre)		Les EMS-92 ne donnent pas de proportions pour les logements individuels de type PA et PN		
L N G I E V	PA	Maçonnerie	Logements individuels anciens réalisés en maçonnerie		3- Pierres 4- Pierres taillées 5- Briques ou blocs de béton non armés et sans chaînage 6- Briques non armées avec plancher béton armé 7- Briques armées ou avec chaînage (maçonnerie confinée)	_	Also	
M I D U E L S	PN	Construction dite « traditionnelle » Fondations en béton armé Planchers en poutrelles préfabriquées + hourdis creux, en brique et béton + chape de béton armé	Logements individuels récents associant la maçonnerie et le béton armé		1- Pierres taillées 2- Briques ou blocs de béton non armés et sans chaînage 3- Briques non armées avec plancher béton armé 4- Briques armées ou avec chaînage (maçonnerie confinée) 5- Béton armé sans disposition parasismique 6- Béton armé avec un minimum de dispositions parasismiques	<u>-</u>	erna.	
	Ossature en hois métal ou héte	Ossature en bois, métal ou béton				Méconnaissance des fonctions d'endommagement pour les bâtiments de type E1, E3 et E4		
E C N O	E1	avec remplissage en maçonnerie	Entrepôts, ateliers et locaux industriels en maçonnerie		-		****	
T M R M E E P R O C T E	E3		Entrepôts, ateliers et locaux industriels en béton armé maçonnerie		-	-	_	
SS	E4		Entrepôts, ateliers et locaux industriels métalliques maçonnerie			-		

Rapport BRGM RP 50690 FR 23

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels –Gestione Rischi Ambientali – Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit. Proposition d'une méthodologie et exemple d'application. Le type T3 comprend des constructions en béton armé sans dispositions parasismiques de classe de vulnérabilité C, et des constructions en béton armé avec un minimum de dispositions parasismiques de classe de vulnérabilité D. Il comprend probablement des constructions en béton armé sans dispositions parasismiques de classe de vulnérabilité D, voir exceptionnellement les classes A et B.

Pour le bâtiment de type T3, la répartition se fait donc selon deux critères, soit :

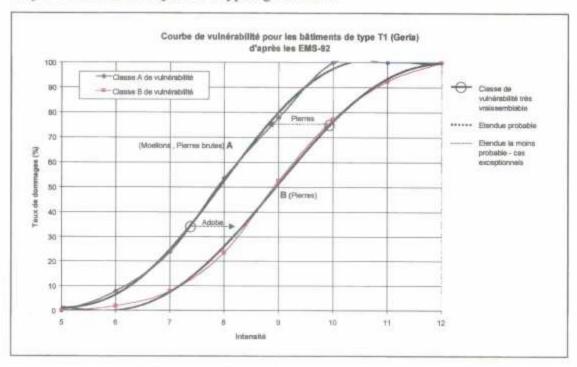
- 50 % de classe de vulnérabilité C (bâtiments en béton armé sans dispositions parasismiques);
- 50 % de classe de vulnérabilité D (bâtiments en béton armé avec un niveau minimum de dispositions parasismiques).
- Le type T4 comprend des constructions en béton armé avec un niveau moyen de dispositions parasismiques de classe de vulnérabilité E et des constructions en béton armé avec un haut niveau de dispositions parasismiques de classe de vulnérabilité F, voir exceptionnellement la classe C.

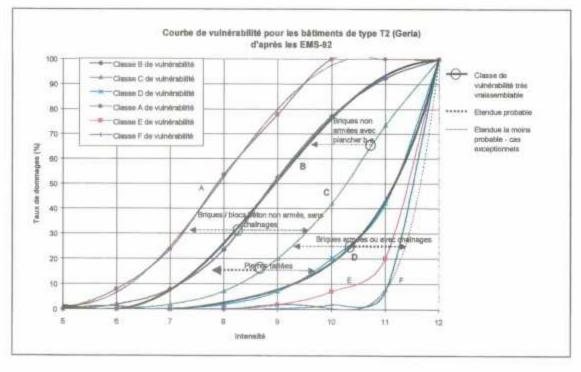
Pour le bâtiment de type T4, la répartition se fait donc selon deux critères, soit :

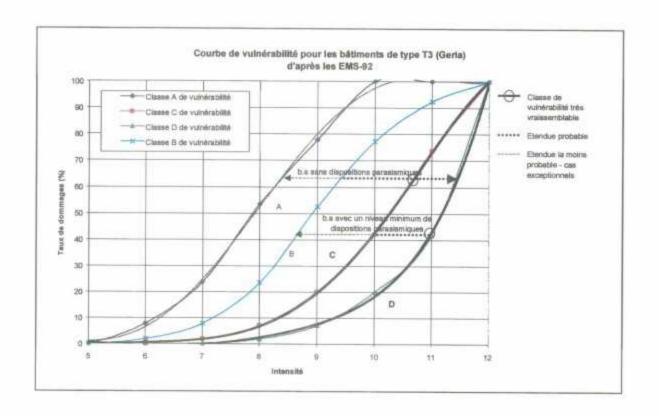
- 50 % de classe de vulnérabilité E (bâtiments en béton armé avec un niveau moyen de dispositions parasismiques);
- 50 % de classe de vulnérabilité F (bâtiments en béton armé avec un haut niveau de dispositions parasismiques).

1.2.2. Fonctions d'endommagement

Une typologie de bâtiment (de type T1, T2, T3 et T4) est associée à une ou plusieurs classes de vulnérabilités, on obtient alors un fuseau de courbes de vulnérabilité pour chaque typologie de bâtiment, avec une augmentation ou une diminution de la vulnérabilité possible en fonction du type de structure (Figure 9). Le fuseau étant compris entre deux courbes de vulnérabilité correspondant aux classes de vulnérabilité les plus vraisemblables pour une typologie donnée.







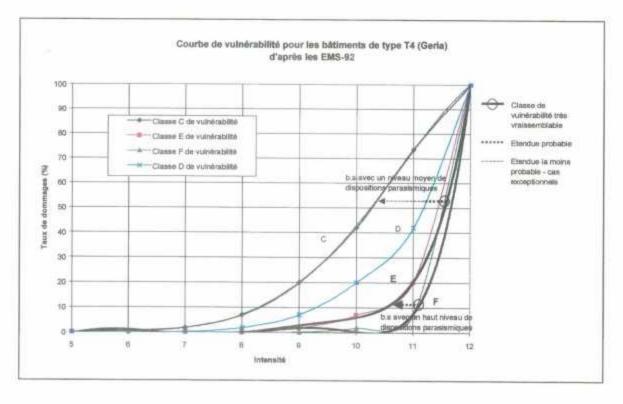


Figure 9: Courbes de vulnérabilités construites à partir d'une ou plusieurs classes de vulnérabilité pour une typologie de bâti donnée

1.2.3. « Fuseaux » de vulnérabilité appliqués au bâti

En reprenant l'ensemble des courbes de vulnérabilité de chacune des typologies de bâti, et en les réunissant sur un même graphique, on obtient donc pour les 4 typologies de bâtiments, 4 fuseaux limités par des courbes de vulnérabilités issues des classes de vulnérabilité les plus vraisemblables (Figure 10).

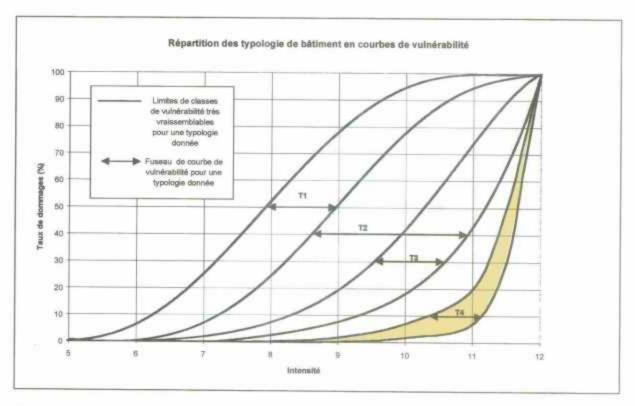


Figure 10 : Fuseaux de courbes de vulnérabilité pour les typologies de bâtiment T1, T2, T3 et T4

Remarques:

- Les limites les plus vraisemblables du fuseau des bâtiments de type T2 englobent celui des bâtiments de type T3;
- Cette répartition des typologies de bâtiments en courbes de vulnérabilité montre une très nette distinction entre les trois typologies T1, T3 et T4;
- Le fuseau de vulnérabilité du T2 apparaît très large par rapport aux autres fuseaux de vulnérabilité. Ceci révèle un manque d'informations et de détail dans la description des éléments structuraux et dans les critères de vulnérabilité de cette catégorie;
- Par conséquent, si on décide d'inclure la typologie T3 dans le fuseau de vulnérabilité du T2, on risque de perdre de l'information dans le type de structure d'un bâtiment de type T3;

1.2.4. Construction des courbes d'endommagement

A partir des données (tableau 2) issues des EMS-92, les courbes d'endommagement donnent pour une accélération donnée et une classe de vulnérabilité donnée un pourcentage de dommages par niveau de dommages, allant de 1 à 5.

Pour chaque classe de vulnérabilité définie dans les EMS-92, les données sur les dommages permettent de construire des courbes de dommages, par degré de dommages (1 à 5)

Afin de corréler les probabilités de dommage avec l'accélération à partir des intensités, nous avons utilisé la loi intensité – accélération suivante, proposée pour l'étude Gémitis Nice :

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

I : intensité de Mercalli modifiée a : accélération au rocher en m/s²

La figure 11 présente les 5 courbes d'endommagement pour les cinq niveaux de dommages 1 à 5 pour la classe de vulnérabilité A.

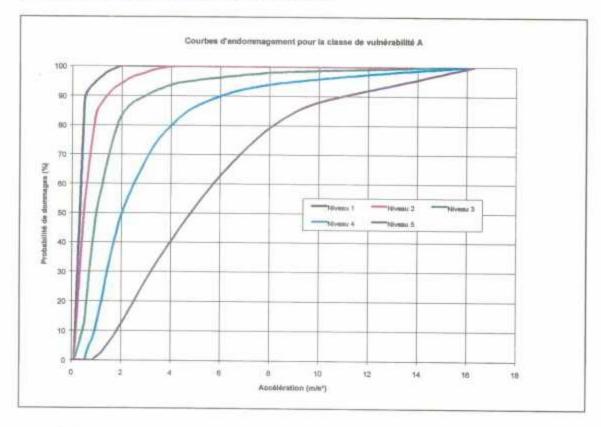


Figure 11 : Courbes d'endommagement pour la classe de vulnérabilité A

Les données correspondant à ces courbes d'endommagement sont tabulées par accélération et présentées en annexe 1.

En reprenant la même démarche que pour le tracé de fuseaux de courbes de vulnérabilité, on peut évaluer un fuseau de dommages pour une typologie donnée.

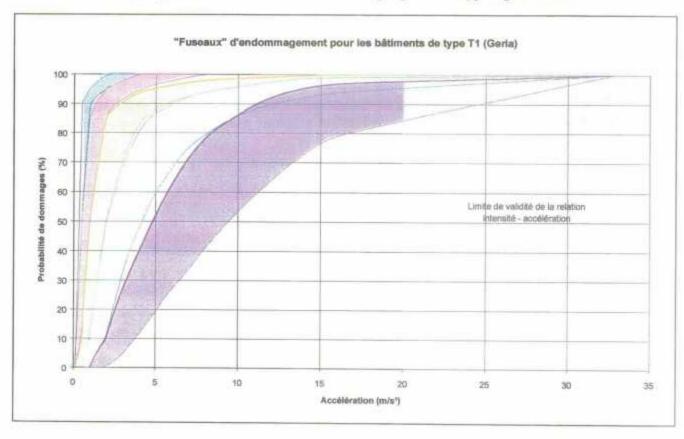


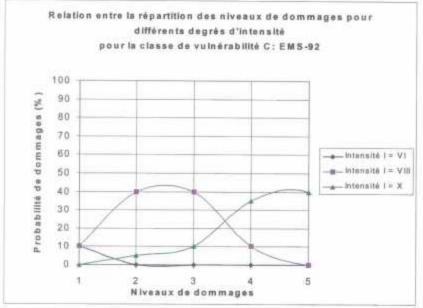
Figure 12 : Fuseaux de dommages pour les bâtiments de type T1

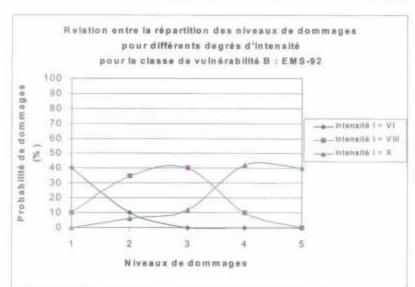
Si on veut raisonner en intensité, deux types de représentations sont retenues pour tenir compte de la définition de l'intensité qui intègre déjà des notions de vulnérabilité. En effet, une interpolation linéaire entre deux intensités (notamment par quart d'intensité) serait très difficile et le résultat inexact :

- 1- La première représentation est sous la forme de courbes montrant la relation directe entre un degré de dommages et une probabilité de dommages pour une intensité donnée (Figure 13);
- 2- Une deuxième représentation sous la formes d'histogrammes montre directement pour une intensité donnée le pourcentage de dommages par niveau de dommages (Figure 14).

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels - Gestione Rischi Ambientali -Phase 3 -Proposition d'une méthodologie et exemple d'application. Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit







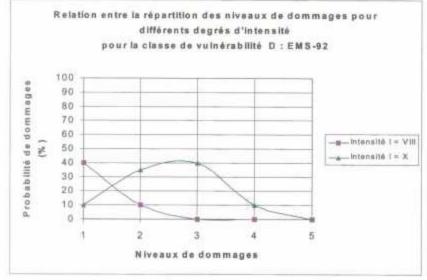
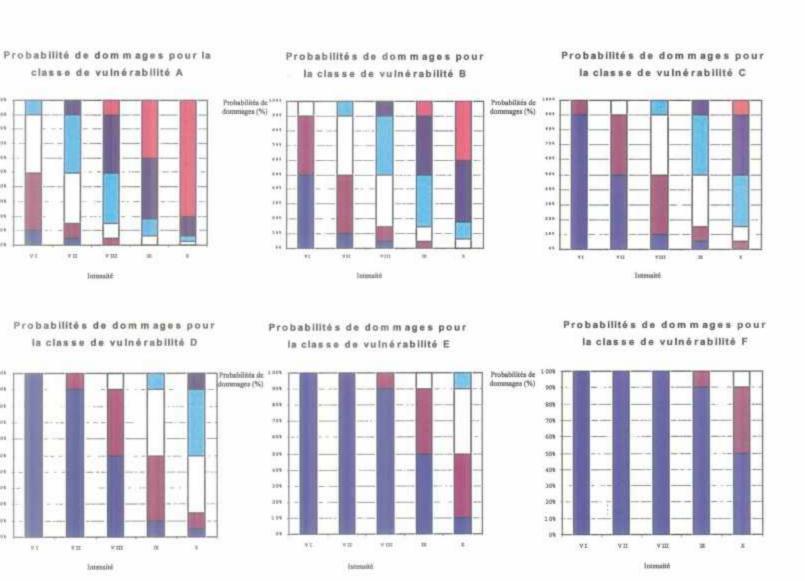


Figure dommages, pour une intensité donnée (équivalentes aux courbes de fragilité – Hazus) 13 ٠. Courbes de probabilité dommages enfonction du пічеан

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels –Gestione Rischi Ambientali – Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit. Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.



Niveau 4

Niveau 5

Niveau 2

Niveau 3

Figure dommages, pour une intensité donnée 14 .. Histogrammes de probabilité de dommages en fonction du niveau de

Probabilités de

444

758

...

204

410

3.86

319

110

Probabilités de 1344 dommages (%)

414

201

71/6

401

910

419

3118

211

1.08

4.4

VII.

9.312

V.III

Niveau 0

Niveau I

Intencial

122

Intmalté

41

donnages (%)

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels –Gestione Rischi Ambientali – Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit. Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

1.2.5. Cas des bâtiments commerciaux

Pour ce qui concerne les bâtiments commerciaux, c'est à dire les bâtiments caractérisés par la présence quasi-systématique de transparences au rez-de-chaussée (vitrines, espaces évidés) (Figure 15), l'étude du GEP (Thibault)⁴ propose d'affecter une majoration de 20% à la vulnérabilité par rapport au bâti d'habitation, seulement en ce qui concerne le bâti ancien. En principe, le bâti en béton armé devrait subir une majoration moins importante, estimée à environ 10 % pour les structures en poteaux-poutre, voir nulle pour les autres types de structures.

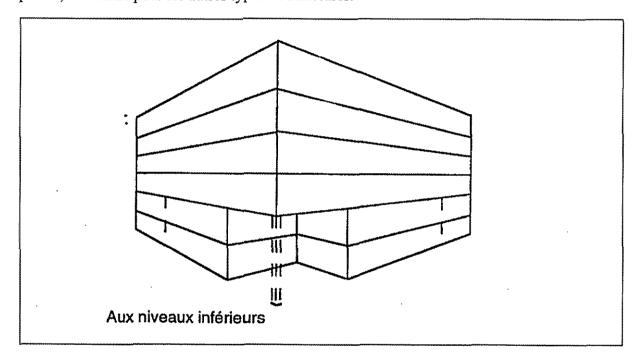


Figure 15 : Exemple de transparence sur un rez-de-chaussée : absence de contreventement sur un angle entraînant un affaiblissement.

La figure 16 présente une comparaison des vulnérabilités entre les bâtiments d'habitation et les bâtiments commerciaux, pour les six classes de vulnérabilité A, B, C, D, E et F.

⁴ Risque Sismique sur Nice – Phase 1, par le CETE méditerranée : J.P. Méneroud

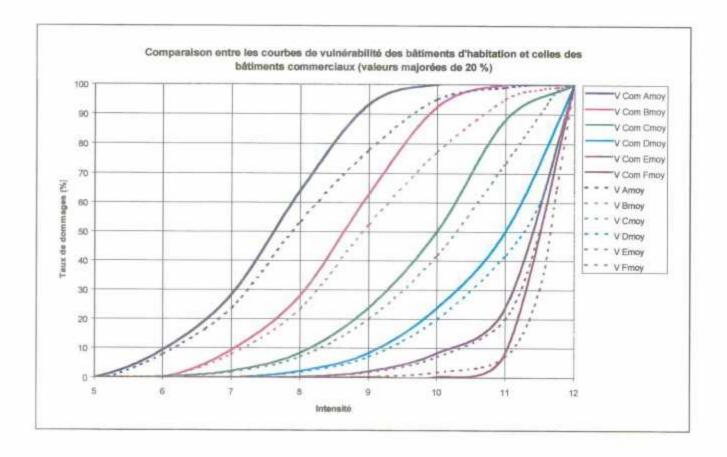


Figure 16 : Comparaison des vulnérabilités entre les bâtiments d'habitation et les bâtiments commerciaux

<u>V moy :</u> taux de dommage moyen pour les bâtiments d'habitation ; <u>Com moy :</u> taux de dommage moyen pour les bâtiments commerciaux

1.3. VULNERABILITE DES BATIMENTS DE CLASSE C

Une méthode d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments de classe C a été proposée par Thibault dans l'étude du GEP⁵.

Cette méthodologie d'approche est empirique, avec un résultat modeste mais suffisant à ce stade de l'étude. L'examen de chaque bâtiment est en effet effectué sur site sans toutefois pénétrer dans les immeubles.

L'analyse aboutit à l'évaluation d'un indice de vulnérabilité variable de 0, pour la présomption d'un endommagement nul, à 1 pour la ruine de l'édifice. L'évaluation est censée correspondre à une agression sismique de zone II.

L'indice de vulnérabilité V est la somme de l'indice V1, correspondant aux critères de base, et de l'indice V2, correspondant aux éléments critiques.

1.3.1. Critères de base (V1)

L'indice V1 cumule l'influence des caractéristiques d'ensemble de la construction sur le niveau de vulnérabilité. Trois caractéristiques sont considérées : âge, matériau structural et état d'entretien.

V1 = VA + VM + VE	(V1 variable de 0 à 0,50)
-------------------	---------------------------

Avec:

VA = âge de construction après 1977 entre 1949 et 1977 entre 1880 et 1949 avant 1880	VA = 0,05 VA = 0,15 VA = 0,10 VA = 0,20
VM = matériau structural béton armé charpente métallique maçonnerie	VM = 0,05 VM = 0,05 VM = 0,15
VE = état d'entretien Etat 1 bon Etat 2 assez bon Etat 3 assez mauvais Etat 4 mauvais	VE = 0 VE = 0,05 VE = 0,10 VE = 0,153

⁵ Risque Sismique sur Nice – Phase 1, par le CETE méditerranée : J.P. Méneroud

1.3.2. Facteurs de vulnérabilité (V2)

Les données recueillies ne correspondent qu'à des observations extérieures aux constructions.

Thibault propose alors des fiches d'évaluation de la vulnérabilité du bâti courant (Figure 17), établie par le groupe de travail du bâti existant de l'AFPS, une liste de 22 facteurs de vulnérabilité susceptibles d'être renseignés sans pénétrer dans les locaux.

Les 22 facteurs appellent une réponse binaire 1/0 pour oui/non. Un poids est attribué à chacun d'eux en fonction du degré de dommages qu'il peut induire et la somme pondérée (500) des 22 valeurs est normée à 0,50.

Le résultat obtenu, noté V2, caractérise l'incidence des points critiques observables de l'extérieur.

Critères	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	oui	non	poids	V2
а	Pente générale du terrain (p > 30 %)	1		25	
b	Proximité de changement de pente (d < 2 h)			50	
С	Soutènement ou talus (d < 2 h)			40	
d	Bâtiment proche (d < h)			25	******
e	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué (e < 4 cm)			15	
f	Dissymétrie en plan	1		25	
g	Elancement en plan $(L/I > 4)$			10	
h	Parties saillantes ou rentrantes	1		15	
i	Etages de hauteur différente			10	
j	Retraits en façades			15	
k	Transparence complète			90	
1	Demi - transparence	1		60	
m	Angle affaibli	1		20	
n	Non continuité verticale des éléments porteurs			25	
0	Présence de poteaux courts			25	***************************************
р	Présence de poteaux élancés			10	
q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse			10	***************************************
r	Porte à faux > 2 m			5	***************************************
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et dangereuses			5	
t	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses			5	
u	Antenne hertzienne en toiture			5	***************************************
٧	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)			10	
				500	

Figure 17 : Fiche d'acquisition et de traitement des facteurs de vulnérabilité

1.3.3. Transposition des valeurs de vulnérabilité en courbes EMS 92

Les valeurs de vulnérabilité V (correspondant à la somme des indices V1 et V2) de construction de classe C n'ont pas de signification tant qu'elles ne sont pas associées à un séisme de niveau donné. Pour y remédier, il sera nécessaire de les caler sur une intensité de l'échelle EMS92. Cet ajustement doit autant que possible tenir compte du calibrage déjà retenu pour le bâti de classe B.

Dans le cas de l'étude GEP de Thibault sur la ville de Nice, les valeurs de vulnérabilité obtenues pour la classe C s'étalent de 0,58 pour les Galeries Lafayette (bâtiment ancien du XIXème comportant des transparences très importantes sur les niveaux inférieurs) à 0,12 pour les locaux de l'entreprise Trivério.

Le type de structure des Galeries Lafayette correspond au type T1 (construction entre 1860 et 1940).

Le bâtiment abrite une activité commerciale.

En conservant les mêmes références que pour le bâti B, on trouverait que la vulnérabilité des Galeries Lafayette, pour un séisme d'intensité IX, vaudrait : V= 0,27*1,20 = 0,32, ou encore 0,59 pour I=X. Si on effectue le calage des valeurs obtenues pour le bâti C sur une intensité I=X, on obtient la courbe C- pour les Galeries Lafayette (V=0,58).

En conservant le calage sur l'intensité I=X, la valeur de vulnérabilité minimale (V=0,12) correspondrait à la courbe E-, c'est-à-dire aux constructions en béton armé bénéficiant d'un niveau moyen de dispositions parasismiques.

Finalement, on aboutit au calibrage suivant pour l'ensemble des bâtiments étudiés dans l'étude du GEP :

```
V=0,10; courbe E-,
V=0,18; - D+,
V=0,24; - D,
V=0,27; - D-,
V=0,44; - C+,
V=0,53; - C,
V=0,59; - C-.
```

En généralisant les courbes à l'ensemble des installations niçoises de classe C, il est possible d'établir une première ébauche de carte de vulnérabilité.

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels –Gestione Rischi Ambientali – Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit. Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

40 BRGM RP 50690 FR

2. Mise en place de scénarios sur trois quartiers de Nice à partir de la méthode EMS-92

2.1. METHODOLOGIE

Un scénario de séisme sur quatre quartiers de la ville de Nice est établi à l'aide des fonctions de vulnérabilité définies par cette méthode.

Dans ce chapitre, la typologie des bâtiments correspond à celle utilisée dans le projet Gemitis Nice⁶:

- T1: bâtiments anciens réalisés en maçonnerie qui correspondent au bâtiment type niçois construit entre 1880 et 1940
- T2: bâtiments très anciens en maçonnerie qui ont été bâtis avant 1880 et présentent des caractéristiques particulières que l'on rencontre dans le vieux Nice
- T3: bâtiments en béton armés réalisés après la guerre jusqu'en 1969 (date estimée).
- T4 : bâtiments réalisés depuis 1969 (date estimée) et suivant les règles de construction parasismiques.

2.1.1. Données utilisées

Les données utilisées pour ce scénario sur Nice sont issues du projet Gémitis Nice et correspondent aux :

- Bâtiments par époque de construction rapportés à la typologie de type T1, T2, T3 et T4 (les bâtiments spécifiques, les pavillons récents PN et les entrepôts n'ont pas été pris en compte dans cet essai de scénario) (voir figure 18);
- Intensités (fichier : ALEASINT) correspondant à l'intensité avec effet de site du séisme de type « Ligure » retenu ;
- Taux de dommages interprétés en terme de probabilité de dommages, calculés par intensité et demi-intensité (voir Annexe 1) et corrélés avec les typologies de bâti et l'aléa intensité.

L'exemple proposé est pris pour un niveau de dommages de niveau 5, c'est à dire un effondrement total du bâtiment.

⁶ Nous ne présentons ici que les résultats concernant les dommages de niveau 5, mais la méthodologie est la même pour les 5 niveaux de dommages.

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels –Gestione Rischi Ambientali –
Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit.
Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

42

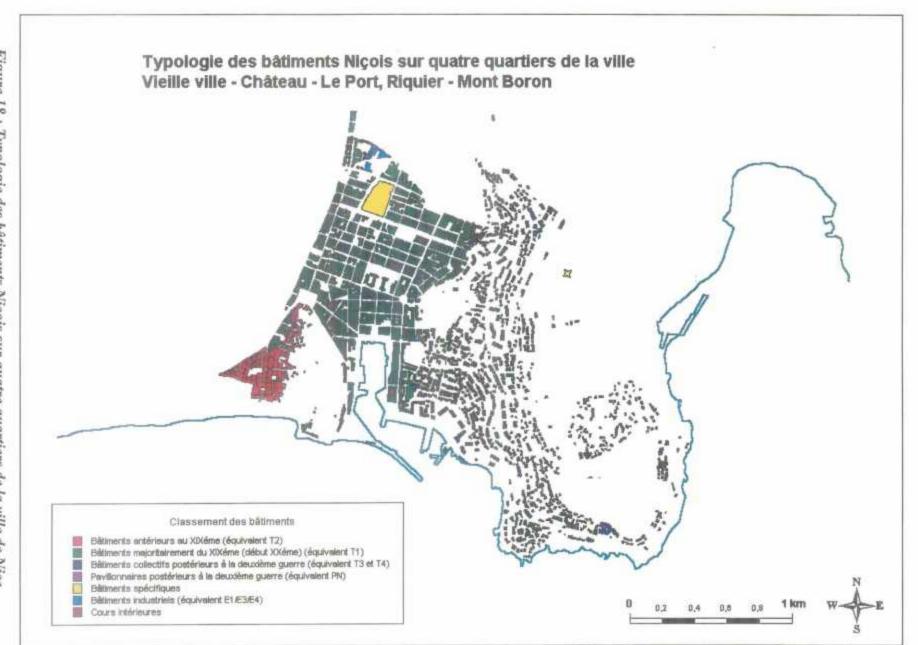


Figure 18 : Typologie des bâtiments Niçois sur quatre quartiers de la ville de Nice

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels –Gestione Rischi Ambientali – Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit. Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

BRGM RP 50690 FR

2.1.2. Mise en place du scénario

Pour chacune des typologies, nous avons pris les deux valeurs limites de probabilité de dommages appartenant aux deux classes de vulnérabilité les plus vraisemblables selon la méthodologie décrite dans le paragraphe 1.2.2 : Fonctions d'endommagement, que nous avons interprétées comme étant les deux cas extrêmes dans l'évaluation des dommages (meilleur des cas et pire des cas).

- Ainsi, pour les bâtiments de type T1, les valeurs de probabilité de dommages sont celles des classes de vulnérabilité B et D;
- Pour les bâtiments de type T2, les valeurs de probabilité de dommages correspondent aux classes de vulnérabilité A et B;
- Pour les bâtiments de type T3, il s'agit des classes C et D;
- Pour les bâtiments de type T4, il s'agit des classes E et F.

Chaque bâtiment est alors affecté d'une probabilité de dommages de niveau 5 pour chacun des cas extrêmes.

Afin de traduire l'incertitude dans les résultats liée au « fuseau » mis en évidence entre deux classes de vulnérabilité les plus vraisemblables, nous avons réunis les deux cas extrêmes pour donner des « fourchettes » de probabilités de dommages.

Chaque bâtiment est donc affecté par une « fourchette » de probabilité de dommages de niveau 5 (effondrement total du bâtiment) liée aux deux cas extrêmes pris en compte.

2.2. PRESENTATION DES RESULTATS

Les résultats du scénario sont présentés en figure 19.

La cartographie montre donc une répartition des dommages cohérente avec la répartition des typologies de bâtiments.

Les probabilités d'obtenir des dommages de niveau 5 (effondrement total du bâtiment) varient entre une probabilité nulle et une probabilité de 0,25.

Ainsi, parmi l'ensemble des bâtiments colorés en vert, moins de cinq bâtiments sur cent vont être endommagés au niveau 5;

Parmi l'ensemble des bâtiments colorés en mauve, moins de dix bâtiments sur cent vont être endommagés à un niveau 5;

Parmi l'ensemble des bâtiments colorés en violet, les résultats donnent une fourchette comprise entre 5 et 25 bâtiments sur 100 endommagés au niveau 5.

Les zones colorées en jaune n'ont pas été renseignés pour cet essai. Il s'agit des pavillons récents (PN), bâtiments spécifiques, entrepôts et les cours intérieures.

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels --Gestione Rischi Ambientali -Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit.
Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

46 BRGM RP 50690 FR

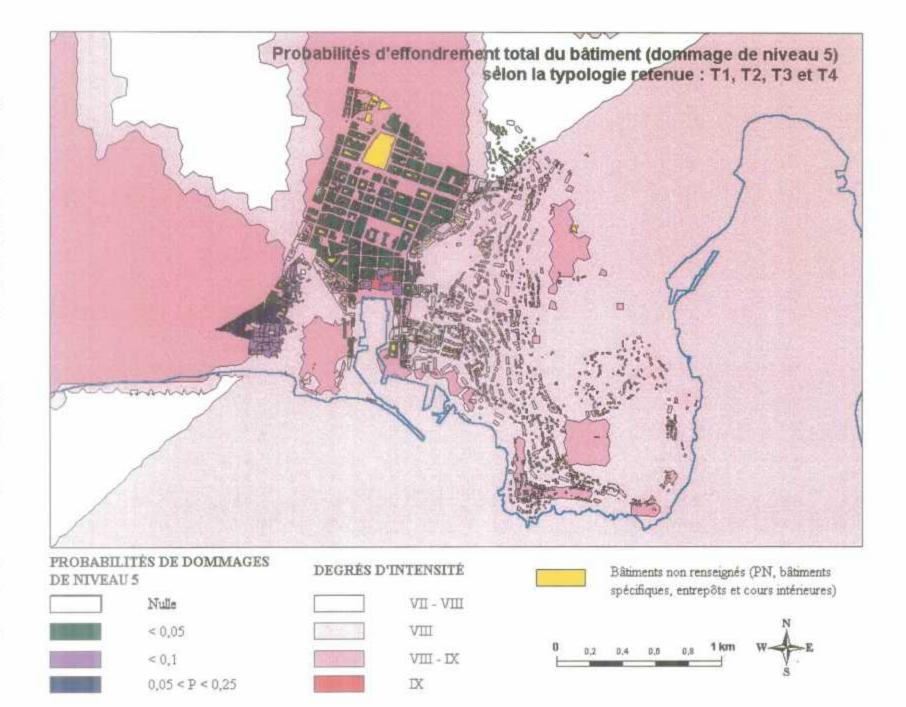


Figure 19 : Probabilités d'effondrement total du bâtiment (dommages de niveau 5) selon la typologie retenue : T1, T2, T3 et T4

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels –Gestione Rischi Ambientali –
Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit.
Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

48 BRGM RP 50690 FR

3. Evaluation de la vulnérabilité du milieu construit : comparaison de différentes méthodes d'approche

Ce chapitre a pour objectif de montrer l'existence d'autres méthodologies sur la prise en compte de la vulnérabilité du bâti existant. Une comparaison avec la méthodologie des EMS-92 décrite précédemment permet de cerner les limites de ces méthodes :

- la méthodologie Hazus (1997);
- la méthodologie de Cochrane et Schaad (1992);
- la méthodologie de Spence et al. (1992);
- la méthodologie de Benedetti (1988).

3.1. LA METHODOLOGIE HAZUS (1997)

3.1.1. Méthodologie

La méthodologie d'approche Hazus⁷ est basée sur une classification des bâtiments selon des critères structuraux (structure interne du bâtiment, hauteur...) et non structuraux (FEMA – 178, FEMA, 1992).

Elle distingue systématiquement pour chaque type de bâtiment le niveau relatif au nombre d'étages et à la hauteur du bâtiment.

En ce qui concerne les bâtiments d'habitations, 36 classes de bâtiments sont définies en fonction du type de structure et du nombre d'étages (Figure 20 et 21).

De la même façon, d'autres classifications ont été définies pour les bâtiments stratégiques, commerciaux...

^{7 «} Earthquake Loss Estimation Methodology HAZard US 97 (HAZUS 97) » - Federal Emergency Management Agency (1997)

W 1/2	Bois, structure légère	L/M/H décrit la hauteur du bâtiment
	Bois, commerces et industries	L : low-rise
S1 L/M	Portiques en acier	M : Mid-rise
S2 ^{L/M/H}	Portiques armés en acier	H: High-Rise
S3	Portiques en acier léger	
S4 L/M/H	Portiques en acier avec murs de cisai	llement en béton précontraint
S5 L/M/H	Portiques en acier avec murs en maç	onnerie non renforcée
C1 L/M/H	Portiques en béton	
C2 L/M/H	Murs de cisaillement en béton	
C3 L/M/H	Portiques en béton avec murs en maq	connerie non renforcée
PC1	Murs en béton précontraint	
PC2 ^{L/M/H}	Portiques en béton précontraint avec	murs de cisaillement en béton
RM1 ^{L/M}	Murs en maçonnerie armée avec dia	
RM2 L/M/H	Murs en maçonnerie armée avec dia	phragmes en béton précontraint
URM ^{L/M}	Murs en maçonnerie non renforcée	· -

Figure 20: Eléments structuraux caractérisant les bâtiments classés selon la typologie Hazus

				He	ight	
No.	Label	Description	Range		Typical	
		•	Name	Stories	Stories	Feet
1	WI	Wood, Light Frame (< 5,000 sq. ft.)		1 - 2	1	14
2	W2	Wood, Commercial and Industrial (> 5,000 sq. ft.)		All	2	24
3	SIL		Low-rise	1 - 3	2	24
4	SIM	Steel Moment Frame	Mid-rise	4 - 7	5	60
5	SIH	**************************************	High-rise	8+	13	156
6	S2L		Low-rise	1 - 3	2	24
7	S2M	Steel Braced Frame	Mid-rise	4 - 7	5	60
8	S2H	-	High-rise	8+	13	156
9	S3	Steel Light Frame		All	1	15
10	S4L	Steel Frame with Cast-in-Place	Low-rise	1 - 3	2	24
11	S4M	Concrete Shear Walls	Mid-rise	4 - 7	5	60
12	S4H	Concrete Shear wans	High-rise	8+	13	156
13	S5L	Steel Frame with Unreinforced	Low-rise	1 - 3	2	24
14	S5M		Mid-rise	4 - 7	5	60
15	S5H	Masonry Infill Walls	High-rise	8+	13	156
16	ClL		Low-rise	1 - 3	2	20
17	CIM	Concrete Moment Frame	Mid-rise	4 - 7	5	50
18	CIH		High-rise	8+	12	120
19	C2L		Low-rise	1 - 3	2	20
20	C2M	Concrete Shear Walls	Mid-rise	4 - 7	5	50
21	C2H		High-rise	8+	12	120
.22	C3L	Concrete Frame with Unreinforced	Low-rise	1 - 3	2	20
23	C3M	Masonry Infill Walls	Mid-rise	4 - 7	5	50
24	СЗН		High-rise	8+	12	120
25	PC1	Precast Concrete Tilt-UP Walls		All	1	15
26	PC2L	Precast Concrete Frames with	Low-rise	1 - 3	2	20
27	PC2M	Concrete Shear Walls	Mid-rise	4 - 7	5	50
28	PC2H		High-rise	8+	12	120
29	RMIL	Reinforced Masonry Bearing Walls	Low-rise	1 - 3	2	20
30		with Wood or Metal Deck Diaphragms	Mid-rise	4+	5	50
31	RM2L	Reinforced Masonry Bearing Walls	Low-rise	1 - 3	2	20
32	RM2M	with Precast Concrete Diaphragms	Mid-rise	4 - 7	5	50
33	RM2H		High-rise	8+	12	120
34	URML	Unreinforced Masonry Bearing Walls	Low-rise	1 - 2	1	15
35	URMM		Mid-rise	3+	3	35
36	МН	Mobile Homes		All	1	10

Figure 21 : Structures des différents types de bâtiments (Hazus, 1997)

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels —Gestione Rischi Ambientali —
Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit.

Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

A partir de ces types de structures, quatre niveaux de dommages structuraux sont définis dans la classification Hazus :

- slight structural damage
- moderate structural damage
- extensive structural damage
- complete structural damage

Ainsi que trois codes de construction en fonction de l'âge du bâtiment :

- High code: pour les constructions postérieures à 1973
- Moderate code: pour les constructions postérieures à 1940
- *Pre Code*: pour les constructions d'avant 1940, c'est à dire avant les codes de construction parasismiques.

Les dommages (probabilités et taux de dommages) sont systématiquement donnés en fonction du déplacement du bâtiment.

Les fonctions de dommages du bâtiment issues de la méthodologie Hazus incluent les courbes de fragilité (probabilité de dommage en fonction du déplacement) et les courbes de capacité (accélération en fonction du déplacement).

3.1.1.1 Courbes de capacité

Les courbes de capacité correspondent à des courbes de résistance qui montrent les dommages au bâtiment en fonction de son déplacement. Ces courbes ne concernent que les dommages structuraux.

Elles sont construites à partir de trois points de contrôle délimitant les domaines élastiques et post-élastiques :

- Design capacity
- Yield capacity
- Ultimate capacity

3.1.1.2 Courbes de fragilité

Les courbes de fragilités peuvent concerner aussi bien les dommages structuraux et non structuraux.

Elles décrivent la probabilité d'atteindre ou de dépasser différents degrés de dommages (dommages faibles, modérés, forts ou complets).

3.1.2. Application de la méthode

L'application de la méthode Hazus sur les projets type Gemitis Nice et Geria nécessite qu'une correspondance soit établie entre les types de bâtiments utilisés dans Hazus et la typologie utilisée dans les projets Gemitis-Nice et Geria. Cette relation est basée uniquement sur les éléments structuraux du bâtiment.

52 BRGM RP 50690 FR

Ainsi, plusieurs types de bâtiments Hazus peuvent être regroupés et représenter une typologie de type T1, T2, T3... donnée (Figure 22) :

Deux types de structures sont alors prédominantes pour l'application de la méthode :

- Les structures en maçonnerie
- Les structures en béton armé

Typologie utilisée dans Gemitis Nice	Typologie utilisée dans Geria	Typologie Hazus		
Type T1, pavillons anciens	Type T2, pavillons anciens	URM: Unreinforced Masonry bearing walls RM1M: Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal Deck Diaphragms RM2M: Reinforced Masonry Bearing Walls with Precast Concrete Diaphragms (S5: Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls)	<u> </u>	Maçonnerie prédominante
Type T2	Type T1	URM: Unreinforced Masonry bearing walls	-	
Type T3, pavillons récents	Type T3, pavillons récents	C1: Reinforced Concrete Moment frame S4: Steel Frame with Cast-in-place Concrete Shear Walls C3: Concret Moment Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	A	Béton armé prédominant
Type T4	Type T4	PC1: Precast Concrete Tilt-Up Walls PC2: Precast Concrete Frames with concrete shear walls		

Figure 22 : Correspondance entre les différentes typologies

Les éléments structuraux ont permis de distinguer les différentes classes de bâtiments présentées ci-dessus.

Ils correspondent à la structure interne du bâtiment : construction en maçonnerie, poteaux-poutre, plancher en béton armé ...

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels —Gestione Rischi Ambientali — Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit. Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

Par exemple, pour les trois types de bâtiments Hazus suivant, correspondant chacun à une typologie utilisée en France, les éléments structuraux intervenant dans la description du bâti sont les suivants :

URM: Unreinforced Masonry bearing wal	$l_S \rightarrow$	Structure en bois
· · · · ·		Plancher en béton coulé sur place
(type T1 / T2)		Murs en maçonnerie non renforcée
		Eléments de structure en acier
C1: Reinforced Concrete Moment frame	\rightarrow	Structure en béton armé
(Type T3)		
PC2: Precast Concrete Frames with concre	ete she	ar walls
	\rightarrow	Béton precontraint
(Type T4)		Poteaux poutres
		Armatures en acier entre éléments
		de béton precontraint

3.1.2.1 Construction des courbes de capacité Hazus selon la typologie utilisée dans Gémitis Nice et Geria

Nous utiliserons dans ce paragraphe la typologie choisie pour le projet Geria.

La formule utilisée pour le calcul des périodes est la suivante :

$$Sdi = \frac{Ti^2}{4\pi^2} \quad Sai$$

Ti en s Sdi en m Sai en m/s²

Six périodes ont été choisies comme périodes de référence

$$T1 = 0.1 s$$

$$T2 = 0.5 s$$

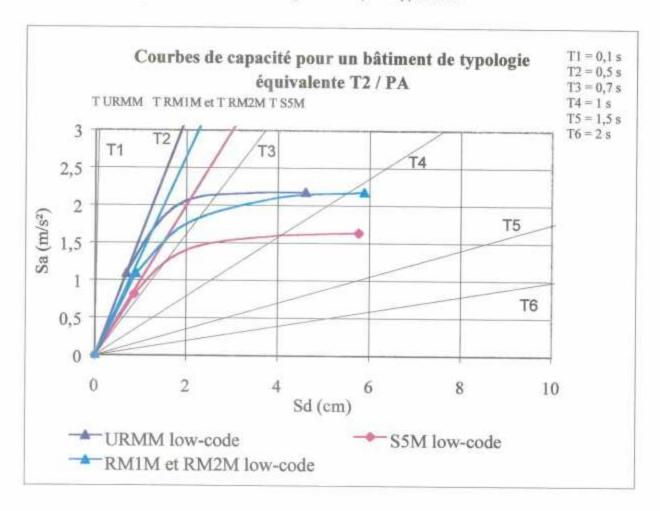
$$T3 = 0.7 s$$

$$T4 = 1 s$$

$$T5 = 1.5 s$$

$$T6 = 2 s$$

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels - Gestione Rischi Ambientali - Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit. Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

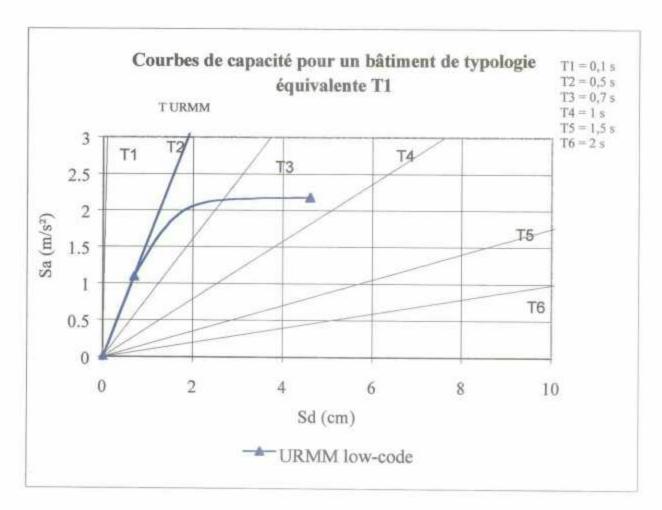


		Yield Capacity	Ultimate Capacity
URMM	Sd (cm)	0,69	4,60
low-code	Sa (m/s2)	1,09	2,18
S5M	Sd (cm)	0,86	5,77
low-code	Sa (m/s2)	0,81	1,64
RMIM	Sd (cm)	0,89	5,87
low-code	Sa (m/s2)	1,09	2,18
RM2M	Sd (cm)	0,89	5,87
low code	Sa (m/s²)	1,09	2,18

Low-code: pour les constructions d'avant 1940

Calcul des périodes propres à chaque bâtiment :

Periodes T (s)	
T URMM low code	0,50
T S5M low code	0,65
T RM1M low code	0,57
T RM2M low code	0,57

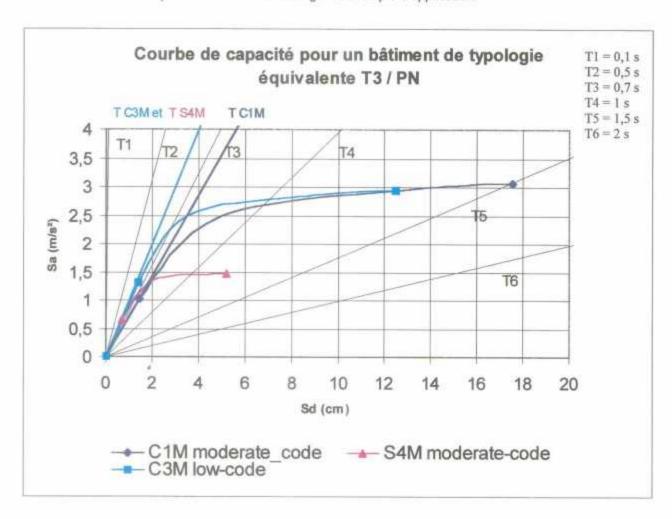


		Yield Capacity	Ultimate Capacity
URMM	Sd (cm)	0,69	4,60
low-code	Sa (m/s²)	1,09	2,18

Low-code: pour les constructions d'avant 1940

Calcul des périodes :

Periodes T (s)	
T URMM low code	0.50



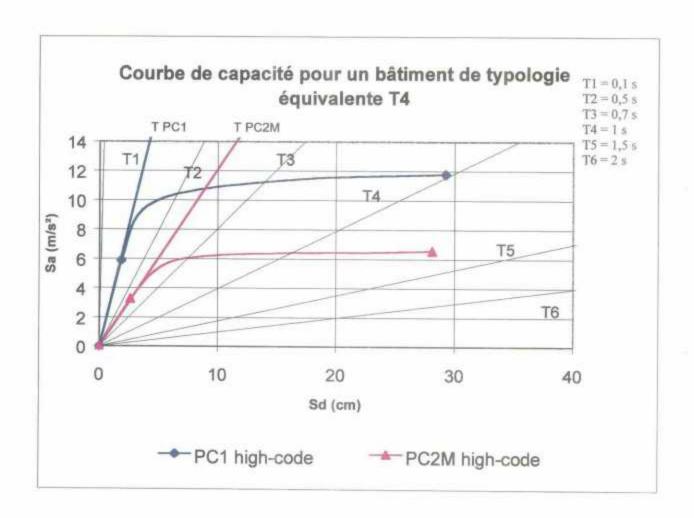
		Yield Capacity	Ultimate Capacity
CIM	Sd (cm)	1,47	17,55
moderate-code	Sa (m/s²)	1,02	3,06
S4M	Sd (cm)	0,69	5,21
moderate-code	Sa (m/s²)	0,66	1,47
C3M	Sd (cm)	1,40	12,47
low-code	Sa (m/s²)	1,30	2,94

Low-code: pour les constructions d'avant 1940

Moderate-code : pour les constructions postérieures à 1940

Calcul des périodes :

Periodes T (s)	
T C1M moderate code	0,75
T S4M moderate code	0,64
T C3M low code	0,65



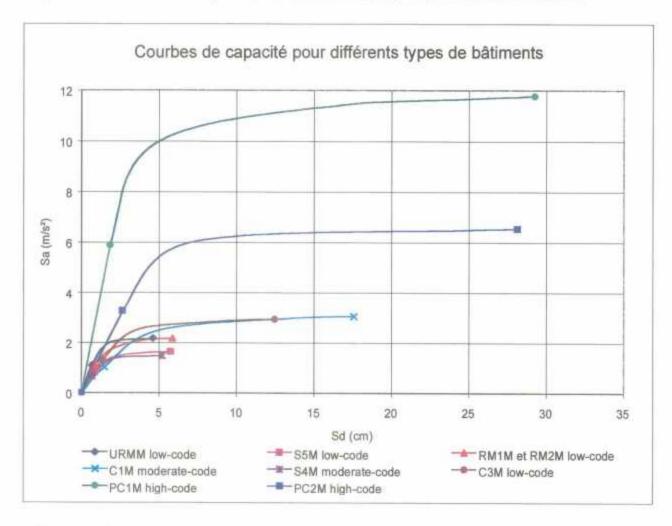
		Yield Capacity	Ultimate Capacity
PC1M	Sd (cm)	1,83	29,24
high-code	Sa (m/s2)	5,89	11,77
PC2M	Sd (cm)	2,64	28,12
high-code	Sa (m/s²)	3,27	6,54

High-code : pour les constructions postérieures à 1973

Calcul des périodes :

Periodes T (s)
T PC1M high code	0,35
T PC2M high code	0.56





Commentaires:

Quatre catégories de bâtiments sont mises en évidence dans la figure ci-dessus, en fonction de la valeur du déplacement (Sd) et de l'accélération (Sa) au moment du passage en domaine post-élastique.

- Une catégorie de bâtiments concernant les typologies URMM / S5M / RM1M / RM2M et S4M dont le passage au domaine post-élastique est atteint pour un déplacement compris entre 4 et 6 cm (pour une accélération variant entre 1,5 et 2,2 m/s²;
- Une catégorie de bâtiments concernant les typologies C1M et C3M dont le passage au domaine post-élastique est atteint pour un déplacement compris entre 12 et 18 cm (pour une accélération de 3 m/s²);
- Une catégorie de bâtiments concernant la typologie PC2M dont le passage au domaine post-élastique est atteint pour un déplacement égal à 28 cm, avec une accélération égale à 6,5 m/s²;

 Une quatrième catégorie concernant la typologie PC1M dont le passage au domaine post-élastique est atteint pour un déplacement égal à 29 cm et une accélération égale à 11,8 m/s².

Comparaison des résultats avec la typologie utilisée dans le projet Geria :

Typologie utilisée dans Geria	Typologie Hazus				
	URM: Unreinforced Masonry				
Type T2 pavillons	bearing walls RM1M: Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal Deck Diaphragms				
Type T2, pavillons anciens	RM2M: Reinforced Masonry				
	Bearing Walls with Precast				
	Concrete Diaphragms				
	(S5 : Steel Frame with				
-	Unreinforced Masonry Infill Walls)				
Type T1	URM : Unreinforced Masonry bearing walls				
	C1 : Reinforced Concrete Moment frame				
Type T3, pavillons	S4: Steel Frame with Cast-in-				
récents	place Concrete Shear Walls				
	C3: Concret Moment Frame with				
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Unreinforced Masonry Infill Walls				
	PC1: Precast Concrete Tilt-Up Walls				
Type T4	PC2: Precast Concrete Frames with concrete shear walls				

R	ésultats de l'interprétation des courbes de capacité Hazus
1	^{ère} catégorie (équivalente T2) :
typ	oologies URMM / S5M / RM1M / RM2M et S4M
2 ⁱ	^{ème} catégorie (équivalente T3) :
	typologies C1M et C3M
3 ^{èr}	^{ne} catégorie (équivalente T4a) :
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	typologie PC2M
4	^{ème} catégorie (éqivalente T4b):
	typologie PC1M

Les catégories de bâtiments issues des courbes de capacité Hazus réajustent la classification utilisée dans le projet Geria, du type T1, T2, T3 et T4:

La typologie T1 n'est plus différenciée;

La typologie T2 reste sensiblement composée des mêmes types de bâtiments;

La typologie T3 perd les bâtiments de type S4;

La typologie T4 est scindée en deux catégories.

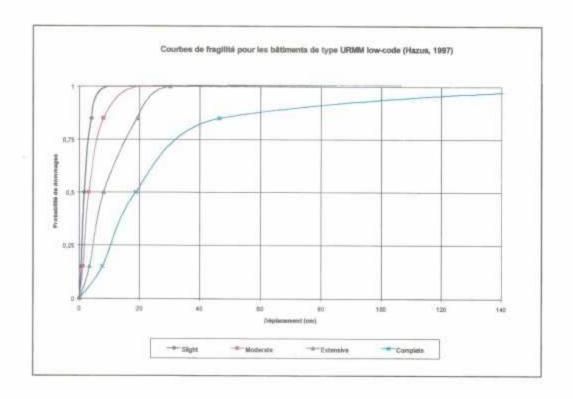
3.1.2.2 Construction des courbes de fragilité Hazus selon la typologie utilisée dans Gémitis Nice et Geria

Les figures suivantes présentent les courbes de fragilité : probabilité de dommages en fonction du déplacement (en cm) pour les typologies Hazus correspondant aux bâtiments de Nice et de Menton.

 Typologie Hazus : URM (UnReinforced Masonry bearing walls) murs en maçonnerie non renforcée)

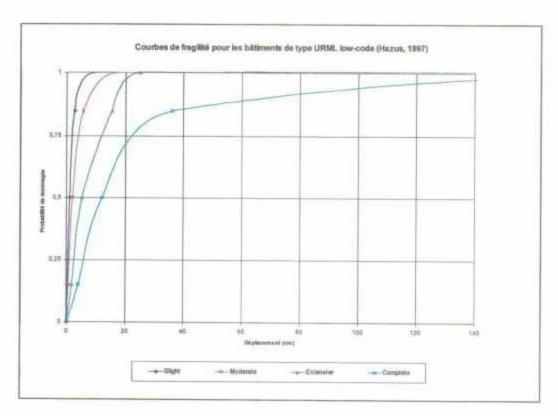
URML : Low rise URMM : Mid rise

Low-code: pour les constructions d'avant 1940



Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels –Gestione Rischi Ambientali –
Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit.

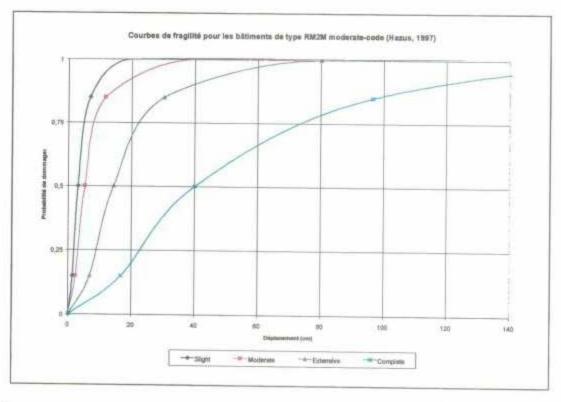
Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.



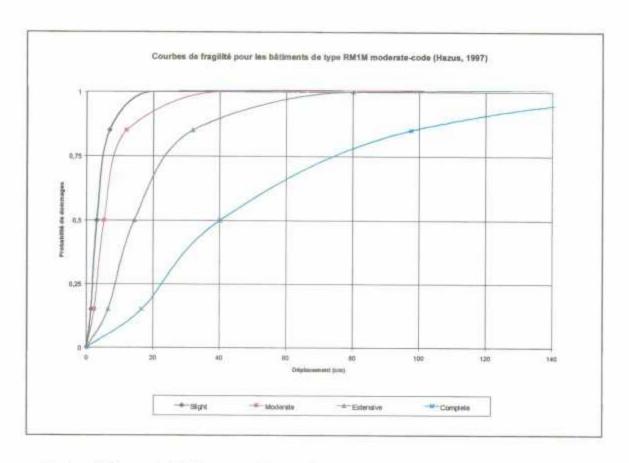
Typologie Hazus: RM2 (Reinforced Masonry Bearing Walls with Precast Concrete Diaphragms) murs en maçonnerie armée avec diaphragmes en béton précontraint RM1 (Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal Deck Diaphragms) murs en maçonnerie armée avec diaphragmes en bois ou en métal

RM2M / RM1M : Mid rise

Moderate-code: pour les constructions postérieures à 1940



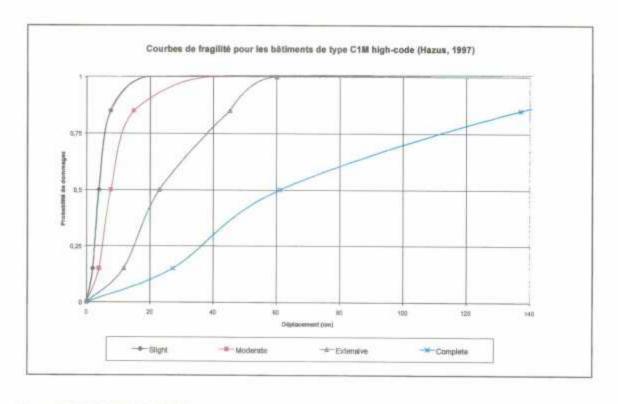
Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels - Gestione Rischi Ambientali - Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit. Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

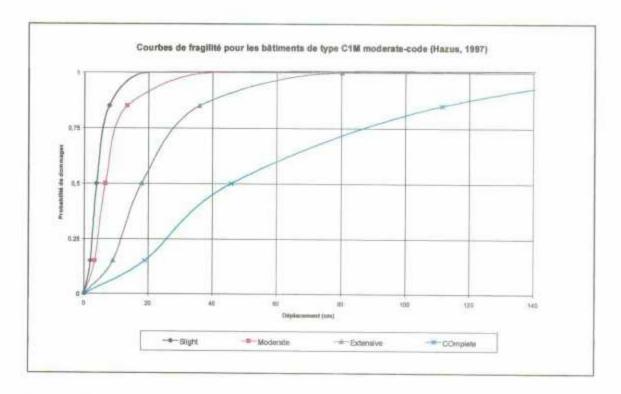


Typologie Hazus : C1 (Concrete Moment Frame) portiques en béton

C1M: Mid rise

High-code : pour les constructions postérieures à 1973 Moderate-code : pour les constructions postérieures à 1940





Commentaires:

La construction des courbes de fragilité d'après les données Hazus met en évidence une des limites de cette méthodologie.

Pour corréler les résultats obtenus à partir des courbes de fragilité Hazus, à savoir des probabilités de dommages par type de construction en fonction du déplacement du bâtiment, il serait nécessaire d'avoir une relation déplacement - accélération pour pouvoir estimer une probabilité de dommages.

Dans le cadre du projet GE.RI.A, l'utilisation de la méthodologie HAZUS ne s'avère donc pas nécessaire dans un premier temps, compte tenue de ses limites.

3.2. LA METHODOLOGIE DE COCHRANE ET SCHAAD (1992)

La méthodologie de Cochrane et Schaad utilise des données qui proviennent de la littérature et d'enquêtes post-sismiques.

Six classes de bâtiments sont définis dans cette méthodologie, principalement à partir d'éléments structuraux :

Classe 3A: Portiques en béton armé avec murs en béton armé ou en briques;

Classe 3B: Portiques en béton armé sans murs de cisaillement et avec des murs de remplissage en béton précontraint, en briques, des vitres, etc;

Classe 3C: Portiques en béton précontraint avec des planchers suspendus, avec ou sans murs de cisaillement;

Classe 4A: Murs en béton armé, précontraint, maçonnerie armée ou murs en blocs de béton creux;

Classe 4B: Murs en briques non armées ou en blocs de béton pleins;

Classe 4C: Murs en blocs de béton creux non armés.

Différents facteurs influencent la vulnérabilité :

- âge
- valeur assuré
- usage
- sol de fondation
- hauteur du bâtiment
- régularités et symétries
- qualité de la construction
- types de matériaux

Pour construire les fonctions de vulnérabilité, un poids est affecté à chacun de ces facteurs.

On obtient une fonction de vulnérabilité reliant un taux de dommage moyen (%) et une intensité MMI (échelle de Mercalli modifiée) (Figure 23).

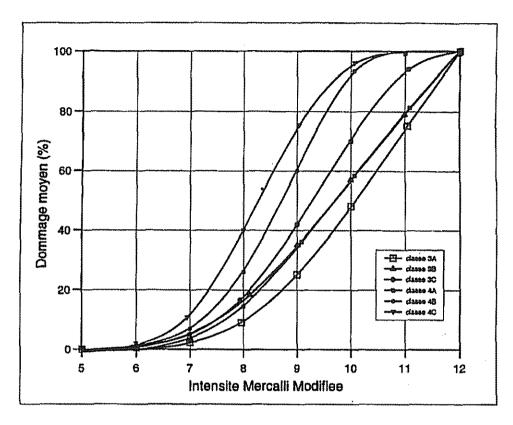


Figure 23 : Courbes de vulnérabilité de bâtiments de différents types de matériaux d'après Cochrane et Schaad (1992)

3.3. LA METHODOLOGIE DE SPENCE ET AL. (1992)

La méthodologie de Spence *et al.* utilise l'échelle PSI (*Paramterless Scale of Intensity*) La classification des constructions est basée sur celle de l'échelle MSK-64, mais elle est plus détaillée pour les besoins de l'échelle PSI: 14 classes de bâtiments définies à partir des éléments structuraux sont donc utilisées, dont 8 plus répandues (Figures 24-25).

1	MSK Intensity Scale Definition	Main Structural Classification	Building Type
Non Engineered Buildings	Masonry Type A Weak Masonry	AR Rubble Stone	AR1 Rubble Stone masoury in mud or lime mortar
·		AE Earthen	AEI Rammed earth constr., earth cob, or solid soil AE2 Composite earth with timber or fibre, wattle and daub, earth and bamboo
		AA Adobe (Earth brick)	AA1 Adobe sun-dried earth brick in mud mortar
•	Masonry Type B	BB Unreinforced Brick	BB1 Unreinf, Fired Brick Masonry in cement mortar BB2 Brick masonry with horizontal reinforcement
	Loadbearing unit	BC Concrete Block	BC1 Concrete Block
	block masonry	BD Dressed Stone Masonry	BD1 Stone masoury, squared and cut, dimensioned stone, monumental
	Building Type C	CC RC Frame cast in-situ	CC1 Reinforced Concrete Frame, in-situ
	Frame Structures	CT Timber Frame	CT1 Timber Frame with heavy infill masonry CT2 Timber Frame with timber cladding, Lightweight structure
Engineered	Building Type D	DB Reinforced Masonry	DB1 Reinforced Brick Masonry
Buildings	Engineered Struct.	DC In-Situ RC Frame	DC1 In-situ RC Frame with non-structural cladding DC2 In-situ RC Frame with infill masonry DC3 In-situ RC Frame with shear wall
	٠	DP Precast RC Structure	DP1 Precast RC Frame with Infill masonry DP2 Precast RC Frame with concrete shear walls DP3 Precast Large Panel Structure
		DH Compos, Sicel/RC	DH1 Composite steel frame with in-situ RC casing
		DS Steel Frame structures	DS1 Light steel frame
			DS2 Steel Frame, moment-resistant DS3 Steel frame with infill masonry
			DS4 Steel frame, braced DS5 Steel frame with RC shear wall or core

Figure 24 : Classification des constructions de l'échelle PSI (Spence et al., 1992)

			DI	D2	D3	D4	D5
High	Confidence (20 to 100 damage surve	ey data points)				-	
BBI	Brick Masonry Unreinforced	ψ50 (μ):	4,9	7.8	10.0	11.6	13.3
	•	Ψ16-50 (σ):	2,5	2.5	2.5	2.5	2.5
		Conf. Limits (1 SD):	0.6	0.4	0.4	0.6	0.7
CC	RC Frame, Non-seismic	Ψ50 (μ):	7.9	10.3	11.3	12.9	14,1
		ψ16-50 (σ): [2.5	2,5	2.5	2.5	2 <u>.5</u>
	•	Conf. Limits (1 SD):	0.7	0,9	0,5	8,0	1.0
AR	Rubble Stone Masonry	Ψ50 (μ):	3.2	5.9	8.2	9.8	11.7
		ψ16-50 (σ):	2.5	2.5	2.5	2,5	2.5
		Conf. Limits (1 SD):	1.0	0.7	0.6	0.8	1,1
Cox	Confidence (up to 20 damage surve				•		
AA	Adobe (Earthen brick) Masonry	Ψ50 (μ):	3.9	6.6	8.9	10.5	12.4
		ψ16-50 (σ):	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
BB2	Brick with ringbeam or diaphragm	Ψ50 (μ):	6.5	9.4	11.6	13.2	14.9
		ψ16-50 (σ):	2.5	2.5	2.5	2.5	2,5
BC	Concrete Block Masonry	Ψ50 (μ):	5.6	8.5	10.7	· 12.3	14.0
_	·	Ψ16-50 (σ):	2.5	2,5	2.5	2.5	2.5
BD	Dressed Stone Masonry	Ψ50 (μ):	4.0	7.1	9.0	10.5	12,4
	-	ψ16-50 (σ):	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
DB	Reinforced Unit Masonry	γ50 (μ):	7,5	10.6	13.0	15.0	. 17.0
		Ψ16-50 (σ):	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

Figure 25 : Paramètres des fonctions de vulnérabilité en échelle PSI pour les constructions les plus répandues

Cette méthodologie d'approche de la vulnérabilité permet une évaluation des dommages au voisinage des stations d'enregistrement (rayon 400m). Les fonctions de vulnérabilité sont donc corrélées aux mouvements du sol enregistrés.

Cette échelle PSI est basée sur les points suivants :

- La proportion de bâtiments d'une classe donnée C subissant un degré de dommages D, suit une loi gaussienne en fonction de l'intensité Ψ (Ψ et σ dépendent de C et D).
- Le point central de l'échelle PSI, correspondant à une valeur arbitrairement choisie de 10, est défini comme étant l'intensité requise pour causer 50 % de dommages de niveau D3 (dommages importants) aux bâtiments en maçonnerie de briques (notée BB1)
- L'unité de l'échelle PSI est définie comme correspondant à un écart-type σ (D3, BB1) de 2,5.

Les fonctions de vulnérabilité sont présentées en figures 26 et 27.

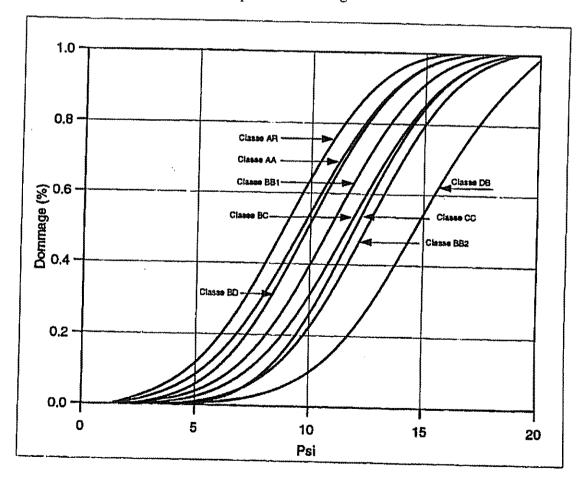


Figure 26 : Vulnérabilité du bâtiment relative à l'échelle PSI

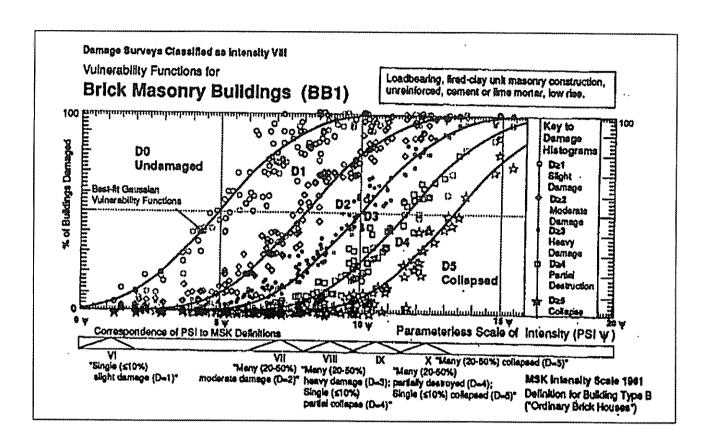


Figure 27 : Fonctions de vulnérabilité correspondant aux niveaux de dommages D1 à D5 issues de la distribution des dommages pour les bâtiments en maçonnerie de briques non armée (Spence et al., 1992)

3.4. LA METHODOLOGIE DE BENEDETTI (1988)

Dans la méthodologie établie par Benedetti en 1988, le taux de dommage d'une construction est calculé en fonction d'un indice de vulnérabilité estimé à partir du diagnostic de l'édifice : indice VI.

Les caractéristiques mises en évidence sont alors pondérées des « notes » attribuées à chaque élément structural et non structural lors du diagnostic de construction (Figure 29), et corrélées avec l'intensité macrosismique.

Les ai sont des coefficients de régression (pour une intensité donnée) de données recueillies après des séismes survenus en Italie.

Sur la base de cet indice VI, ainsi obtenu par la somme de ces facteurs pondérés, on estime le taux de dommages d attendu pour une intensité I, par la formule :

$$D(VI,I) = a_0(I) + a_1(I)VI + a_2(I)VI^2$$

Les courbes ainsi obtenues sont représentées dans les figure suivante (Figure 28).

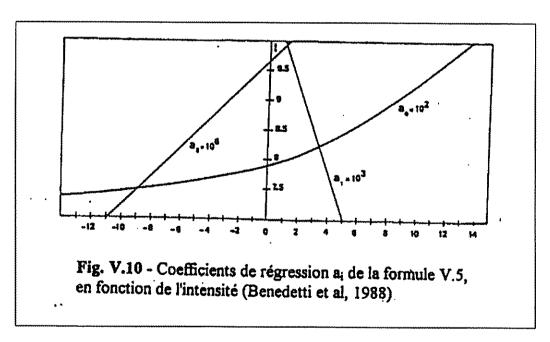


Figure 28 : Coefficients de régression a_i de la formule de Benedetti en fonction de l'intensité (Benedetti et al., 1988)

-		Clas.	se	•			Indice
<u> </u>	Elément	A	В	С	D	Poids	Partie
1	Liaison des murs	0	5	20	45	1.0	1
2	Type de murs	0	5	25	45	0.25	
3	Condition de sol	0	5	25	45	0.75	1
4	Résistance globale à l'effort tranchant	0	5	25	45	1.5	
5	Régularité en plan	0	5	25	45	0.50	
6	Régularité en élévation	0	5	25	45	#	1
7	Planchers	0	5	15	45	*	
8	Toiture	lo	15	25	45	*	
9	Détails	0	Õ	25	45	0.25	
10	Conditions générales d'entretien	0	5	25	45	1.0	
	Indice Global	<u> </u>	······································			1	

Figure 29 : Tableau pour l'évaluation de l'indice de vulnérabilité (* Ce facteur poids est laissé à l'appréciation de l'opérateur)

Les classes A, B, C et D désignent un niveau de conformité aux règles parasismiques :

- A: élément conforme aux normes parasismiques (poids affecté 0);
- Entre B et C : élément situé entre parasismique et très vulnérable (poids affecté 5 ou 25) :
- D: élément très vulnérable (poids affecté 45).

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels –Gestione Rischi Ambientali – Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit. Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

72 BRGM RP 50690 FR

Conclusion

Cette étude a permis de proposer une méthodologie pour l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit, et de la comparer à d'autres méthodologies existantes.

Cette méthodologie est issue de l' « European Macrosismic Scale 1992 ». Elle permet une analyse de la vulnérabilité du bâti d'habitation et du bâti commercial à partir d'une description du bâtiment sur des critères simples. Cette description permet de définir des critères de vulnérabilité et d'affecter à chaque typologie de bâtiment une ou plusieurs classes de vulnérabilité réparties de façon homogène et statistique.

A partir de cette analyse de la vulnérabilité, on en déduit une évaluation des dommages. Les courbes d'endommagement donnent alors une probabilité de dommage.

Cette probabilité de dommage peut s'exprimer soit en fonction de l'intensité, soit en fonction de l'accélération.

La représentation retenue comme plus intéressante s'avère être la courbe de probabilité de dommages en fonction du niveau de dommages, pour une intensité donnée. Cette courbe d'endommagement est définie pour une classe de vulnérabilité (de A à F), associée elle-même à une typologie de bâtiments.

L'annexe 3 présente pour chaque typologie de bâtiment retenue sur les communes du projet Geria (notamment Menton et Roquebrune-Cap-Martin), les classes de vulnérabilité associées à chaque critère de description et les courbes d'endommagement correspondantes :

<u>Exemple</u>: Typologie de bâtiments T1 (bâtiments très anciens réalisés en maçonnerie et datant d'avant 1862.

Répartition selon les critères de vulnérabilité d'après les EMS-92 :

50 % moellons et pierres brutes

Classe A

50 % de pierres

→ Classe B





Classe A

Classe B

L'application de la méthode des EMS-92 sur trois quartiers de Nice a permis de montrer une répartition des dommages de niveau 5 (effondrement total du bâtiment) cohérente avec la répartition des typologies de bâtiments. Les résultats obtenus montrent une incertitude issue de l'affectation statistique et homogène des classes de vulnérabilité à une typologie de bâti. Ainsi on obtient des probabilités de dommages allant d'une probabilité nulle à une probabilité de 0,25 d'avoir un effondrement total de l'édifice.

La comparaison avec la méthodologie Hazus (1997) a mis en évidence trois points importants :

- Hazus distingue deux types principaux de constructions : maçonnerie prédominante et béton armé prédominant, qu'il décline ensuite en différentes catégories à partir d'éléments de construction plus précis;
- La comparaison des typologies par la construction des courbes de capacité de Hazus (spectre en déplacement en fonction du spectre en accélération) réajuste le classement des quatre principaux types de bâtiments (T1, T2, T3 et T4);
- La construction des courbes de fragilité Hazus met en évidence les limites de la méthode, à savoir une relation déplacement accélération pour estimer une probabilité de dommages.

Bibliographie

- Benedetti D., Benzoni G., Parisi M.-A. (1988) Seismic vulnerability and risk evaluation for old urban nuclei, Earthquake Engineering and Structural Dynamic, vol. 16, pp. 183-201.
- CETE Méditerranée (2000) Risque sismique sur Nice Etude de scénarios de gestion de crise sismique. Définition de l'aléa, de la vulnérabilité et des enjeux., laboratoire de Nice, laboratoire de Nice, *Rapport GEMGEP N° 98740136*, 138p.
- Cochrane S.-W., Schaad W.- H. (1992) Assessment of earthquake vulnerability of buildings, 10 WCEE, Madrid, Spain.
- European Seismological Commission (1993) European Macrosismic Scale 1992 *Grünthal G. Editor*, Luxembourg.
- Farsi M. (1996) Identification des structures de génie civil à partir de leurs réponses vibratoires. Vulnérabilité du bâti existant. *Thèse de l'université Joseph Fourier*. 194 p. + annexes.
- Federal Emergency Management Agency (1997) Earthquake Loss Estimation Methodology. HAZUS 97 Technical Manual.
- Karnik V., Schenkova Z., Schenk V. (1984) Vulnerability and the MSK Scale, *Engineering Geology*, 20, pp. 161-168.
- Murphy J.R., O'Brien L.J. (1977) The correlation of peak ground acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 67(3), pp. 877-915.
- Spence R.-J.-S., Coburn A.-W., Pomonis A. (1992) Correlation of ground motion with building damage: The definition of a new damage-based seismic intensity scale, 10 WCEE, Madrid, Spain.
- Stieltjes L., Bour M., Monge O. avec la collaboration de Martin R., Mouroux P. (1997)
 Projet GEMITIS Nice: évaluation de l'aléa sismique local sur la ville de Nice.

 Rapport BRGM R39082, 80p., 22fig., 9 tabl., 8 pl. h.t.
- Thierry P., Zacek M., Vercellino G., Martin R. avec la collaboration de Bard P.-Y., Mouroux P. et Tartar C. (1998) Projet GEMITIS Nice: Analyse de la vulnérabilité (bâti courant et bâtiments stratégiques communaux). Mise en place des éléments pour les scénarios de risque. *Rapport BRGM R40229*, 88 p., 7 fig., 12 tabl., 10 annexes.

Liste des figures

Figure 1 : Différentes étapes pour la réalisation d'un scénario de séisme8
Figure 2 : Courbes de vulnérabilité issues des 6 classes de vulnérabilité des
EMS-9214
Figure 3 : Courbes de vulnérabilité relatives à l'échelle EMS-92 en fonction
DE L'ACCÉLÉRATION HORIZONTALE (AVEC LA LOI LOG (AH) = $0.24I + 0.57$)15
Figure 4 : Courbes de vulnérabilité relatives à l'échelle EMS-92 en fonction
DE L'ACCÉLÉRATION HORIZONTALE (AVEC LA LOI LOG (AH) = $0.25I + 0.25$)15
IGURE 5 : COURBES DE VULNÉRABILITÉ RELATIVES À L'ÉCHELLE EMS-92 EN FONCTION
DE L'ACCÉLÉRATION AU ROCHER (AVEC LA LOI $I = 3,3 \log A + 7$)16
FIGURE 6: DIFFÉRENCIATION DES STRUCTURES (BÂTIMENTS) DANS LES CLASSES DE
vulnérabilité (EMS-92)18
Figure 7: Définition des niveaux de dommages 1 à 5 (EMS-92)19
Figure 8 : Dommages caractéristiques des bâtiments au séisme, pour les
CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE (RÉUNION AFPS, 1997)20
Figure 9: Courbes de vulnérabilités construites à partir d'une ou plusieurs
CLASSES DE VULNÉRABILITÉ POUR UNE TYPOLOGIE DE BÂTI DONNÉE27
Figure 10 : Fuseaux de courbes de vulnérabilité pour les typologies de
BÂTIMENT T1, T2, T3 ET T428
FIGURE 11 : COURBES D'ENDOMMAGEMENT POUR LA CLASSE DE VULNÉRABILITÉ A29
FIGURE 12: FUSEAUX DE DOMMAGES POUR LES BÂTIMENTS DE TYPE T130
FIGURE 13: COURBES DE PROBABILITÉ DE DOMMAGES EN FONCTION DU NIVEAU DE
DOMMAGES, POUR UNE INTENSITÉ DONNÉE (ÉQUIVALENTES AUX COURBES DE
FRAGILITÉ – HAZUS)31
FIGURE 14: HISTOGRAMMES DE PROBABILITÉ DE DOMMAGES EN FONCTION DU NIVEAU DE
DOMMAGES, POUR UNE INTENSITÉ DONNÉE
FIGURE 15 : EXEMPLE DE TRANSPARENCE SUR UN REZ-DE-CHAUSSÉE : ABSENCE DE
CONTREVENTEMENT SUR UN ANGLE ENTRAÎNANT UN AFFAIBLISSEMENT
FIGURE 16: COMPARAISON DES VULNÉRABILITÉS ENTRE LES BÂTIMENTS D'HABITATION
ET LES BÂTIMENTS COMMERCIAUX
FIGURE 17 : FICHE D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT DES FACTEURS DE VULNÉRABILITÉ
Eroyne 18 - Tymou ogu paga pâmu (pyma Nigova gyp oyy mpa oyy petipaga peti a 194 p. p. p.
FIGURE 18: TYPOLOGIE DES BÂTIMENTS NIÇOIS SUR QUATRE QUARTIERS DE LA VILLE DE
NICE
NIVEAU 5) SELON LA TYPOLOGIE RETENUE : T1, T2, T3 ET T4
FIGURE 20: ELÉMENTS STRUCTURAUX CARACTÉRISANT LES BÂTIMENTS CLASSÉS SELON
LA TYPOLOGIE HAZUS
Figure 21 : Structures des différents types de Bâtiments (Hazus, 1997)
Figure 22: Correspondance entre les différentes typologies
FIGURE 23 : COURBES DE VULNÉRABILITÉ DE BÂTIMENTS DE DIFFÉRENTS TYPES DE
MATÉRIAUX D'APRÈS COCHRANE ET SCHAAD (1992)
FIGURE 24: CLASSIFICATION DES CONSTRUCTIONS DE L'ÉCHELLE PSI (SPENCE ET AL.,
1992)
1274)

Figure 25 : Paramètres des fonctions de vulnérabilité en échelle PSI pour	LES
CONSTRUCTIONS LES PLUS RÉPANDUES	67
FIGURE 26: VULNÉRABILITÉ DU BÂTIMENT RELATIVE À L'ÉCHELLE PSI	68
FIGURE 27 : FONCTIONS DE VULNÉRABILITÉ CORRESPONDANT AUX NIVEAUX DE	
DOMMAGES D1 À D5 ISSUES DE LA DISTRIBUTION DES DOMMAGES POUR LES	
BÂTIMENTS EN MAÇONNERIE DE BRIQUES NON ARMÉE (SPENCE ET AL., 1992)	69
FIGURE 28 : COEFFICIENTS DE RÉGRESSION AI DE LA FORMULE DE BENEDETTI EN	
FONCTION DE L'INTENSITÉ (BENEDETTI ET AL., 1988)	70
FIGURE 29 : TABLEAU POUR L'ÉVALUATION DE L'INDICE DE VULNÉRABILITÉ (* CE	
FACTEUR POIDS EST LAISSÉ À L'APPRÉCIATION DE L'OPÉRATEUR)	71

Liste des tableaux

Tableau 1 : Relation % dommages (DR) / Niveau de dommage (DC) (EMS-92, modifié). * Valeurs relatives moyennes : 1- 0 à 5 % de pertes ; 2- 5 à 20 % de pertes ; 3- 20 à 55 % de pertes ; 4- 55 à 90 % de pertes et 6- plus de 90	
DE PERTES.	
TABLEAU 2 : POURCENTAGE DE BÂTIMENTS ENDOMMAGÉS (N) AU NIVEAU DES	
DOMMAGES (DC) CORRESPONDANT À CHAQUE DEGRÉ D'INTENSITÉ DE L'ÉCHELLE	
EMS-92 (MODIFIÉ)	.13
TABLEAU 3: TYPOLOGIE DES BÂTIMENTS ÉTABLIE À PARTIR D'UNE DESCRIPTION	
ARCHITECTURALE DES ÉLÉMENTS STRUCTURAUX	.22

Liste des annexes

Annexe 1 : Répartition des taux de dommages par niveaux de dommages (de 0 à 5)	pour
une classe de vulnérabilité (bâtiments d'habitation)	83
Annexe 2 : Répartition des taux de dommages par niveaux de dommages (de 0 à 5)	pour
une classe de vulnérabilité (bâtiments commerciaux)	87
Annexe 3 : Vulnérabilité (EMS-92) et courbes d'endommagement par typologie de	
bâtiment	91

Annexes

Annexe 1 : Répartition des taux de dommages par niveaux de dommages (de 0 à 5) pour une classe de vulnérabilité (bâtiments d'habitation)

A	0,05	0,06	0,072	0,086	0,1	0,121	0,144	0,172	0,2	0,244	0,29	0,346	0,41	0,49	0,583	0,694	0,83	0,984	1,172	1,395	1,66
0	10	5,75	7,5	6,25	- 5	3,75	2,5	1,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	40	32,5	25	17,5	10	8,75	7,5	6,25	5	3,75	2,5	1,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	40	38,75	37,5	36,25	35	28,75	22,5	16,25	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1,5	1	0,5	0
3	10	17,5	25	32,5	40	38,75	37,5	36,25	35	29,25	23,5	17,75	12	10	8	6	4	3	2	1	0
4:	(0.1	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40	40,5	41	41,5	- 42	35	28	21	14	10,5	7	3,5	.0
5	(0)	::0	0:	0	.0	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40	50	60	70	80	85	90	95	100
cumul	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
В	0,05	0,06	0,072	0,086	0,1	0,121	0,144	0,172	0,2	0,244	0,29	0,346	0,41	0,49	0,583	0,694	0,83	0,984	1,172	1,395	1,66
0	50	40	30	20	10	8,75	7,5	6,25	5	3,75	2,5	1,25	0	0	0	0	D	0	0	0	.0
1	40	40	40	40	40	32,5	25	17,5	10	8,75	7,5	6,25	5	3,75	2,5	1,25	0	0	0	0	0
2	10	17,5	25	32,5	40	38,75	37,5	36,25	35	28,75	22,5	16,25	10	9	8	7	6	5	4	3	2
3	0	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40	38,75	37,5	36,25	35	29,25	23,5	17,75	12	10	8	6	6
4.	0	.0	0	0	.0	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40	40,5	41	41,5	42	35	28	21	14
5	(0)	-0	0	(0)	.0	0	0	0	0	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40	50	60	70	80
cumut	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
С	0,05	0,06	0,072	0,086	0,1	0,121	0,144	0,172	0,2	0,244	0,29	0,346	0,41	0,49	0,583	0,694	0,83	0,984	1,172	1,395	1,66
0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	8,75	7,5	6,25	5	3,75	2,5	1,25	.0	0	0	0	0
1	10	17,5	25	32,5	40	40	40	40	40	32,5	25	17,5	10	8,75	7,5	6,25	5	3,75	2,5	1,25	0
2	0	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40	38,75	37,5	36,25	35	28,75	22,5	16,25	10	9	8	7	6
3	0	0	0	0	0	2,5	.5	7,5	10	17,5	25	32,5	: 40	38,75	37,5	38,25	35	29,25	23,5	17,75	12
4	(0)	.0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40	40,5	41	41,5	42
5	0.0	:0	0:	0	0	0:	0	.0	0	0	0	0	0;	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40
cumul	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels - Gestione Rischi Ambientali - Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milieu construit. Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

D	0,05	0,06	0,072	0,086	0,1	0,121	0,144	0,172	0,2	0,244	0,29	0,346	0,41	0,49	0,583	0,694	0,83	0,984	1,172	1,395	1,66
0	100	97,5	95	92,5	90	80	70	60	50	40	30	20	10	8,75	7,5	6,25	5	3,75	2,5	1,25	0
1	0	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40	40	40	40	40	32,5	25	17,5	10	8,75	7,5	6,25	5.
2	0	0	0	0	0	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40	38,75	37,5	36,25	35	28,75	22,5	16,25	10
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40	38,75	37,5	36,25	35
4	0	0	0	.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40
5	0	0	0	0	Ö	. 0	0	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	5	7,5	10
cumul	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
E	0,05	0,06	0,072	0,086	0,1	0,121	0,144	0,172	0,2	0,244	0,29	0,346	0,41	0,49	0,583	0,694	0,83	0,984	1,172	1,395	1,66
0	100	100	100	100	100	97,5	95	92,5	90	80	70	60	50	40	30	20	10	8,75	7,5	6,25	5
1	0:	0	0	0	0	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40	40	40	40	40	32,5	25	17,5	10
2	0	0	0	-0	:0	0	0	.0	.0	2,5	5	7,5	10.	17,5	25	32,5	40	38,75	37,5	36,25	35
3	0	0.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40
4	0	0	0	.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	5	7,5	10
5	(0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0:	0	0	0	0	0
cumul	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F	0,05	0,06	0,072	0,086	0,1	0,121	0,144	0,172	0,2	0,244	0,29	0,346	0,41	0,49	0,583	0,694	0,83	0,984	1,172	1,395	1,66
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97,5	95	92,5	90	80	70	60	50	40	30	20	10
1	0	0.	0	0	0	0	0	0	0	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40	40	40	40	40
2	0	0	0	0	.0	.0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	5	7,5	10	17,5	25	32,5	40
3	0	0	0	0	.0	0	0	.0	0	0	0	0	0	.0	0	0	0	2,5	5	7,5	10
4	0	0	0	0	- 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	.0	0	.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
cumul	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

86

Projet GE.RI.A - Prise en Compte des Risques Naturels - Gestione Rischi Ambientali - Phase 3 - Contribution à l'évaluation de la vulnérabilité du milleu construit. Proposition d'une méthodologie et exemple d'application.

Annexe 2 : Répartition des taux de dommages par niveaux de dommages (de 0 à 5) pour une classe de vulnérabilité (bâtiments commerciaux)

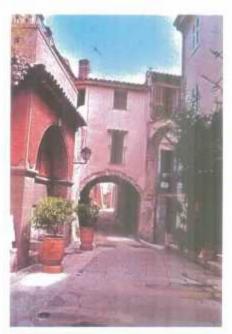
Α	0,05	0,06	0,072	0,086	0,1	0,121	0,144	0,172	0,2	0,244	0,29	0,346	0,41	0,49	0,583	0,694	0,83	0,984	1,172	1,395	1,66
0	12	10,5	9	7,5	6	4,5	3	1,5	.0	0	.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	48	39	30	21	12	10,5	9	7,5	- 6	4,5	3	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	48	46,5	45	43,5	42	34,5	27	19,5	12	10,8	9,6	8,4	7.2	-6	4,8	3,6	2.4	1,8	1,2	0,6	0
3	12	21	30	39	48	46,5	45	43,5	42	35,1	28,2	21,3	14,4	12	9,6	7,2	4,8	3,6	2,4	1,2	7.07
4	(0)	3	-8	9	32	21	30	39	48	48,6	49,2	49,8	50,4	42	33,6	25,2	18,8	12,6	8,4	4,2	((0))
5	0	0	0	0	0	3	6	9	12	21	30	39	48	60	72	84	96	102	108	1114	120
cumul	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
В	0,05	0,06	0,072	0,086	0,1	0,121	0,144	0,172	0,2	0,244	0,29	0,346	0,41	0,49	0,583	0,694	0,83	0,984	1,172	1,395	1,66
0	60	48	36	24	12	10,5	9:	7,5	6	4,5	3	1,5	()	0	0	0	0	0	0	0	0.0
1	.48	48	48	48	48:	39	30	21	12	10,5	9	7,5	6	4,5	3	1,5	0	0	0	0	0
2	12	.21	30	39	48	48,5	45	43,5	42	34,5	27	19,5	512.	10,8	9,6	8,4	7,2	-6	4,8	3,6	2,4
3	0	3	6	8	12	21	30	39	48.	46,5	45	43,5	42	35,1	28,2	21,3	14,4	12	9,6	7,2	4,8
4	0	0	0	0	0	3	6	9	12	21	30	39	48	48,6	49,2	49,8	50,4	42	33,6	25,2	16,8
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	9	12	21	30	39	48	60	72	84	08
cumul	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
С	0,05	0,06	0,072	0,086	0,1	0,121	0,144	0,172	0,2	0,244	0,29	0,346	0,41	0,49	0,583	0,694	0,83	0,984	1,172	1,395	1,66
0	108	.96	84	.72	60	48	36	24	12	10,5	Ð	7,5	(6)	4,5	3	1,5	Ð	0	0:	0	1.03
-1	12	21	30	39	48	48	48	48	48	38	30	21	(12)	10,5	9	7,5	6	4,5	3	1,5	(0)
2	0	3	- 6	9	12	21	38	39	48	46,5	45	43,5	42	34,5	27	19,5	12	10,8	9,6	8,4	7,2
3	.0	0	0	0	0	3	- 6	9	12	21	30	39	46	46,5	45	43,5	42	35,1	28,2	21,3	14.4
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	- 6	9	12	21	30	39	4.8	48,6	49,2	49,8	50,4
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	-6	9	12	21	30	39	48
cumul	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120

BRGM RP 50690 FR

88

D	0,05	0,06	0,072	0,086	0,1	0,121	0,144	0,172	0,2	0,244	0,29	0,346	0,41	0,49	0,583	0,694	0,83	0,984	1,172	1,395	1,66
0	120	117	114	111	108	96	84	72	60	48	36	24	12	10,5	9	7,5	6	4,5	3	1,5	0
1.	0	3	6	9	12	21	30	39	.48	48	48	48	48	39	30	21	12	10,5	9	7,5	6
2	0	0	0	0	. 0	3	- 6	9	12	21	30	39	48	46,5	45	43,5	42	34,5	27	19,5	12
3	0	0	0	0	0	0	0	0	(0)	3	6	9	12	21	30	39	48	46,5	45	43,5	42
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	9	12	21	30	39	48
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	9	12
cumul	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
E	0,05	0,06	0,072	0,086	0,1	0,121	0,144	0,172	0,2	0,244	0,29	0,346	0,41	0,49	0,583	0,694	0,83	0,984	1,172	1,395	1,66
0	110	110	110	110	110	107,3	104,5	101,8	99	88	77	66	55	44	33	22	11	9,625	8,25	6,875	5,5
1	0	0	0	0	0	2,75	5,5	8,25	71	19,25	27,5	35,75	44	44	44	44	44	35,75	27,5	19,25	11
2	0	0	0	0	0	0	Ū	0	0	2,75	5,5	8,25	11	19,25	27,5	35,75	44	42,63	41,25	39,88	38,5
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	. 0	2,75	5,5	8,25	11	19,25	27,5	35,75	44
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,75	5,5	8,25	11
5	.0	0	0:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cumul	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
F	0,05	0,06	0,072	0,086	0,1	0,121	0,144	0,172	0,2	0,244	0,29	0,346	0,41	0,49	0,583	0,694	0.83	0,984	1,172	1,395	1,66
0	110	110	110	110	110	110	110	110	110	107,3	104,5	101,8	99	88	77	66	55	44	33	22	11
1	0	0	0.	0	0	0	0	0	.0	2,75	5,5	8,25	11	19,25	27,5	35,75	44	44	44	44	44
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,75	5,5	8,25	11	19,25	27,5	35,75	44
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,75	5,5	8,25	-11
4	0	0	0	0	.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cumul	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110





Typologie des bâtiments Vulnérabilité (d'après les EMS-92)

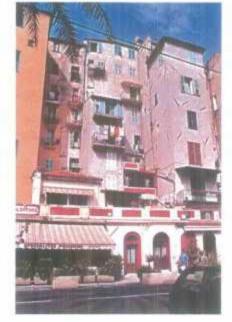
Type T1

Geria - France

Bâtiments très anciens réalisés en maçonnerie (avant 1862)

Porche sur rue (vieux village Roquebrune-Cap-Martin)

Quai Bonaparte à Menton



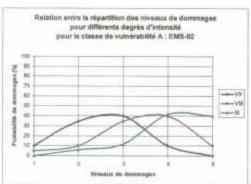
Les constructions en adobe (briques de terre) étant inexistantes dans les villes des Alpes Maritimes telles que Menton, on répartit de façon statistique le bâtiment de type T1 selon deux critères :

50 % de moellons et Classe A pierres brutes Classe B 50 % de pierres

Courbes <u>d'endommagement</u>

Classe A





Classe B







Typologie des bâtiments

Type T2

Geria - France

Bâtiments anciens réalisés en maçonnerie (1862 - 1940)

T2 dans quartier du centenaire à Menton

Vulnérabilité (d'après les EMS-92)

Répartition statistique de façon homogène à défaut de plus d'informations

25 % de pierres taillées

Classe C

25 % de briques ou blocs de béton non armés et sans chaînage

Classe B

25 % de briques non armées avec plancher en béton armé

Classe C

25 % de briques armées ou avec chaînages:

Classe D

maçonnerie confinée

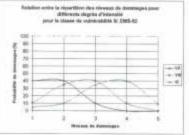
T2 Place de la mairie à Menton

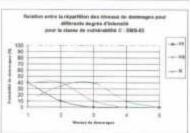
Courbes d'endommagement



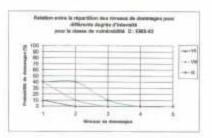
Classe B

Classe C





Classe D





Typologie des bâtiments

Type T3

Geria - France

Bâtiments en béton armé réalisés après la guerre jusqu'en 1969 (date estimée)

T3 sur bord de mer Carnolès (Roquebrune-Cap-Martin)

Vulnérabilité (d'après les EMS-92)

Répartition statistique de façon homogène à défaut de plus d'informations

50 % béton armé sans dispositions parasismiques

Classe C

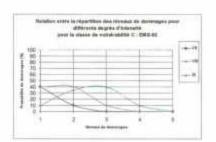
50 % de béton armé avec un niveau minimum de dispositions parasismiques



Classe D

Courbes d'endommagement

Classe C



Classe D









Typologie des bâtiments

Type T4

Geria - France

Bâtiments réalisés depuis 1969 (date estimée) et suivant les règles de construction parasismiques

T4 quartier Banastron / Carnolès à Roquebrune-Cap-Martin

Vulnérabilité (d'après les EMS-92)

Répartition statistique de façon homogène à défaut de plus d'informations

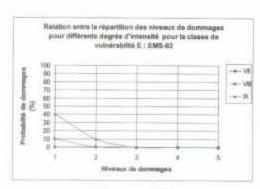
50 % de béton armé
avec un niveau moyen
de dispositions
parasismiques

Classe E

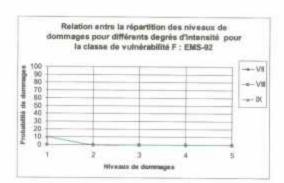
50 % de béton armé
avec un haut niveau de
dispositions
Classe F
parasismiques

T4 sur bord de mer à Garavan, Menton

Courbes d'endommagement







Classe F

