

L'estimation du risque sismique des bâtiments en milieu urbain

*Fatima-Zohra BABA HAMED**

*Driss Djaoued RAHAL**

*Farid RAHAL***

1. Introduction

Les bilans de pertes enregistrées ces dernières années suite au séisme dans les grandes agglomérations à travers le monde a engendré une politique de prévention du risque à l'échelle régionale; matérialisée par des projets régionaux tels HAZUS, RADIUS, RISK UE,... Ces projets ont pour objectifs le développement de méthodologies communes mettant à profit l'expérience des différents groupes travaillant dans le domaine de la réduction du risque.

Dans les centres urbains, l'expérience a montré que l'évaluation de la vulnérabilité et l'établissement de diagnostic restent le seul moyen adapté.

Le développement actuel de l'informatique permet aujourd'hui de disposer de grandes quantités d'informations, Cela s'applique en particulier au domaine du risque sismique, particulièrement riche en informations hétérogènes et aléatoires qu'il est nécessaire de prendre en compte dans les politiques d'urbanisme.

Ceci impose donc la nécessité d'envisager la construction de véritables systèmes d'information géographique contenant l'analyse de la vulnérabilité. Ainsi, un maximum d'informations traitées de façon rigoureuse pourrait contribuer à une gestion de crise plus efficace et permettre d'éviter à l'avenir des erreurs difficilement réparables.

2. Etat de l'art des différentes méthodes d'estimation de la vulnérabilité sismique.

Les différentes approches de l'évaluation de la vulnérabilité sismique se résument aux :

- Méthodes de vulnérabilité sismique basées sur l'observation ; on y trouve des approches empiriques et des méthodes statistiques.
- Méthodes analytiques.

* Département de Génie Civil USTO

** Département d'Architecture USTO

- Méthodes basées sur le jugement expert.
- Méthodes d'analyse détaillée.

2.1. Méthodes de vulnérabilité basée sur l'observation

Ces méthodes sont basées sur des statistiques de dommages lors des séismes passés. L'un des premiers à avoir compilé des statistiques de dommages sur des bâtiments lors des séismes fut Whitman en 1974 (Whitman et al, 1974). A partir de l'examen des dommages causés par le séisme de San Fernando du 9 février 1971 couvrant environ 1600 bâtiments de cinq niveaux et plus, des matrices de probabilité de dommages (DPM) ont été établies pour différents types de bâtiments. Chaque nombre dans la matrice exprime la probabilité qu'un bâtiment présente un certain niveau de dommage comme résultat de l'intensité du séisme. Cette forme de DPM est devenue la plus largement utilisée pour définir la distribution probable des dommages, adaptée par d'autres méthodes. L'approche GNDT niveau I "National Group for the Defense against Earthquake" (GNDT, 1994) est basée sur la méthode de DPM aussi, présentant trois classes de vulnérabilité, de A à C. La DPM de la méthode GNDT a été établie à partir de données statistiques récoltées après le séisme d'Irpinia (Braga et al. 1982).

2.2. Méthodes basées sur le jugement expert

L'une des premières tentatives basées sur le jugement expert a été établie par l'ATC (Applied Technology Council) fondé par la FEMA (Federal Emergency Management Agency) et résumé dans un rapport (ATC-13) en 1987 (ATC 13, 1987). L'ATC-13 a dérivé essentiellement des matrices de probabilité de dommages pour 78 classes d'ouvrages, 40 d'entre elles sont des bâtiments, en interrogeant 58 experts pour estimer le pourcentage de dommage possible pouvant se produire dans une structure sujette à un séisme d'intensité donnée. L'estimation du taux de dommage a été définie comme un ratio de la valeur de remplacement.

La procédure d'affectation de score, reportée dans l'ATC-21 (ATC 21, 1988), éditée par la FEMA en 1988 (rapport FEMA 154) est considérée comme procédure visuelle rapide. Dans cette approche, un score structural de base (BSH) a été introduit auquel on rajoute ou retranche des facteurs de performance si des défaillances sont constatées. Une autre méthode basée sur l'affectation de score a été aussi développée et appliquée en Italie, connue par l'approche GNDT niveau II (Benedetti et Petrini, 1984). Dans cette méthode l'indice de vulnérabilité I_v est attribué à chaque bâtiment après une inspection visuelle dans le but d'identifier le système structural et ses défaillances.

L'indice de vulnérabilité I_v est obtenu en combinant les différents scores et les poids relatifs attribués à ces paramètres. I_v se range entre 0 et 1.

Un autre type de méthodes d'évaluation de la vulnérabilité basée sur l'observation et le jugement expert ; les méthodes macrosismiques. L'endommagement d'un bâtiment est utilisé pour mesurer l'intensité macrosismique et aussi pour construire des fonctions de vulnérabilité.

Tableau n°1 : matrice de probabilité de dommage (d'après Whithman, 1974)

Etat de dommage	Dommage structurel	Dommage non-structurel	Taux de dommage (%)	Intensité du séisme				
				V	VI	VII	VIII	IX
0	Non	Non	0-0.05	...	...	...	...	...
1	Non	Mineur	0.05-0.3	...	...	...	...	...
2	Non	Localisé	0.3-1.25	...	...	...	...	...
3	Insignifiant	Etendu	1.25-3.5	...	...	...	...	...
4	Mineur	Substantiel	3.5-4.5	...	...	...	...	...
5	Substantiel	Extensif	7.5-20	...	...	...	...	...
6	Majeur	Presque total	20-65	...	...	...	...	...
7	Bâtiment condamné		100	...	...	...	...	...
8	Effondrement		100	...	...	...	...	...

2.3. Approches analytiques

Les méthodes analytiques pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique doivent permettre d'analyser un grand nombre de bâtiments en une courte période de temps. Ceci mène à introduire des modèles simples qui exigent seulement l'introduction de quelques paramètres. Actuellement, la plus récente tendance pour l'évaluation de la vulnérabilité pour l'analyse du risque sismique utilise la méthode d'analyse capacitaire (Chopra et Goel, 1999). La plus largement connue est HAZUS-99 (HAZUS, 1999), une méthodologie développée par la FEMA. Cette méthodologie est basée sur trois concepts fondamentaux : courbe de capacité, point de performance et courbe de fragilité. La courbe de capacité représente la relation entre les forces de résistance latérales d'une structure donnée et son déplacement latéral. La courbe de capacité est ensuite convertie en accélération et déplacement spectraux, ce qui peut être comparé avec la demande spectrale pour obtenir le point de performance. Dans le but d'évaluer l'endommagement d'un bâtiment le point de performance évalué est comparé avec les états limites de dommage.

2.4 Méthodes d'analyse détaillée

Les procédures d'analyse détaillée comprennent les méthodes linéaires et les méthodes non-linéaires. Ces méthodes sont plus longues en application et ne sont utilisées que dans l'évaluation des bâtiments individuels seulement. Elles ne sont pas appropriées dans les projets de scénarios de séismes où un grand nombre de bâtiments doit être évalué.

3. Estimation du risque sismique dans la ville d'Oran

Véritable poumon économique et industriel, Oran, deuxième ville d'Algérie, après la capitale Alger, se situe au nord-ouest sur les bords de la Méditerranée. Riche en histoire et en architecture, puisqu'elle abrite des réalisations de grande valeur urbanistique et architecturale.

La région d'Oran a été sujette à plusieurs séismes de plus ou moins grande importance [Baddari, 1994].

Une catastrophe à Oran peut multiplier d'une manière spectaculaire ses effets pour trois raisons principales :

- accumulation d'habitations à usage individuel ou collectif ;
- importance de la densité de la population en zone urbaine ;
- concentration d'activités à caractère artisanal, industriel, commercial et culturel.

La vulnérabilité de cet ensemble est donc double, puisque la menace sur les personnes s'accompagne éventuellement d'une perte d'activités, (destruction ou endommagement de l'outil de travail).

On citera en exemple le recensement établi en Avril 2005 par l'Office Public de Gestion Immobilière (OPGI) indiquant le taux de vétusté (fort, moyen, faible), selon les différents quartiers de la ville. [Tableau 2].

Tableau n°2 : Taux de vétusté des immeubles selon les différents quartiers de la ville d'Oran

Quartier	immeubles	Privé	OPGI	1(fort)	2(moyen)	3(faible)	Familles
Sidi El Houari	160	52	108	134	23	03	953
Derb	196	49	147	112	30	54	1336
Delmonte + St Eugène	147	11	136	118	22	07	1016
Saint-Antoine	171	56	115	130	40	01	1231
Saint-Pierre	311	21	290	115	147	49	2370
Plateaux	266	57	209	46	140	80	2027
Centre-Ville	292	46	246	40	176	76	2797
Choupot	69	15	54	31	31	07	504
Gambetta	39	02	37	17	20	02	362
Bel air	7	01	06	7	0	0	121
Carteaux	63	12	51	38	24	01	498
Ville Nouvelle	35	10	25	27	07	01	277
Eckmühl	123	13	110	95	28	0	949
Mediouni	43	25	18	28	14	01	237
Boulangier	26	07	19	15	10	01	204
Maraval	0	0	0	00	0	0	0
Sananes + Cholet	49	06	43	23	10	07	400
Total	1997	383	1614	976	722	290	15282

4. Méthodologie : Méthode de l'indice de vulnérabilité

La méthode de l'indice de vulnérabilité consiste à identifier des paramètres structuraux ou non structuraux ayant une influence sur la réponse sismique de la structure. Une fois ces paramètres identifiés, on leur affecte un coefficient pour tenir compte de leur prépondérance les uns par rapport aux autres.

En nous basant sur les développements effectués par Benedetti et al. (Benedetti *et al.*, 1988) nous proposons le tableau suivant des paramètres que nous estimons prépondérant dans l'estimation de la qualité sismique des constructions à Oran.

Tableau n°3 : Eléments de calcul de l'indice de vulnérabilité

Paramètres	Classes				Facteurs de pondération
	A	B	C	D	
1. Résistance total au cisaillement	0	5	25	45	1.50
2. Régularité en plan	0	5	25	45	0.50
3. Régularité en élévation	0	5	25	45	0.50
4. Connexion des murs	0	5	25	45	1.00
5. Types de murs	0	5	25	45	0.25
6. Plancher	0	5	25	45	0.25
7. Toiture	0	15	25	45	0.25
8. Condition du sol	0	5	25	45	0.75
9. Détails	0	0	25	45	0.25
10. Maintenance	0	5	25	45	1.00

Chaque paramètre de nature structural ou non structural considéré peut avoir une influence sur la réponse sismique de la construction et ne peut prendre qu'une seule vulnérabilité, celle-ci représente la classe à laquelle appartient cette construction.

Nous avons quatre classes : A, B, C et D. La classe A représente des constructions réalisées selon le code parasismique en vigueur et donc présente une bonne résistance au séisme, quant à la classe D, elle représente les constructions ayant une mauvaise résistance au séisme. Les classes B et C sont des classes intermédiaires. A chaque classe un coefficient de pondération est affecté.

L'indice de vulnérabilité d'un élément est donc le coefficient affecté à la classe de la construction multiplié par un facteur de pondération. La somme des indices de vulnérabilité 'Iv' de tous les éléments représente l'indice de vulnérabilité de la construction.

Cette étude est réalisée en deux étapes :

- Affectation des facteurs de pondération fixes aux éléments qui étaient assigné dans la théorie de Benedetti par l'opérateur (l'expert), à savoir : Régularité en élévation, Plancher et Toiture. En effet pour ces éléments l'expert devait introduire un coefficient de pondération. Ce qui introduisait une part de subjectivité.

- Définition de trois groupes de valeurs de l'indice de vulnérabilité permettant la classification de nos constructions, à chaque plage nous avons associé une couleur représentant l'état du bâti. Les intervalles utilisés sont les suivants :

- ◆ [0 - 35], les bâtiments sont classés vert et représente ceux qui ont un bon état
- ◆ [35 - 250], ils sont classés orange, donc, nécessite une intervention pour les renforcer vis-à-vis d'un séisme futur,
- ◆ [250 - 450], ces bâtiments sont classés rouge, donc présentent une faible qualité sismique, ce qui signifie que leur remplacement s'avère indispensable.

Des enquêtes sont nécessaires pour une classification de l'état du bâti. Pour cela, une fiche technique sera renseignée pour chaque bâtiment étudié.

5. Application

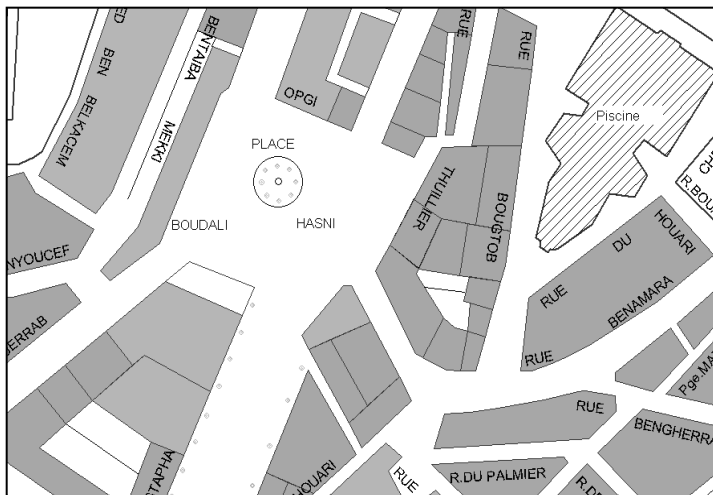
Dans le présent travail, nous allons mettre en application le concept développé précédemment. Cette application consiste à faire l'étude d'un ensemble de bâtiments, situé dans le quartier sidi el houari.

Le quartier de **Sidi El Houari** est situé au nord-ouest de la ville d'Oran. Créée au 10^{ème} siècle au pied des monts Murdjadjo sur les deux rives du ravin de Ras El Ain, il constitue le quartier historique de la ville.

Le quartier est dans un état de vétusté très avancée, accentué par deux facteurs, naturel et humain. En effet, la nature argileuse du terrain suscite des glissements de terrain et de nombreuses démolitions favorisées par la forte pente (le quartier de la Calère et une partie importante du Boulevard Stalingrad).

Quant aux dégâts occasionnés par le manque d'entretien des habitants, ils concernent la majeure partie du quartier.

Figure n°1 : Vue en plan des bâtiments du quartier Sidi El Houari



5.1. La collecte des données

Les données concernant ces bâtiments ont été numérisés dans une base de données grâce aux fiches d'enquêtes techniques et intégrées à un Système d'Information Géographique (SIG). Nous avons développé un programme de calcul nous permettant de calculer la valeur de l'indice de vulnérabilité pour chacun des bâtiments étudiés, qui injecté dans le SIG, nous permet de visualiser la classification des constructions concernées.

L'élaboration de la fiche technique permettant l'estimation de l'indice de vulnérabilité 'Iv' après enquêtes sur site, nécessite la connaissance des paramètres de nature structurale ou non structurale, ayant une influence sur le comportement de la structure et donc sur la réponse sismique.

Le quartier est dans un état de vétusté très avancée, accentué par deux facteurs, naturel et humain. En effet, la nature argileuse du terrain suscite des glissements de terrain et de nombreuses démolitions favorisées par la forte pente (le quartier de la Calère et une partie importante du Boulevard Stalingrad).

Quant aux dégâts occasionnés par le manque d'entretien des habitants, ils concernent la majeure partie du quartier.

La fiche d'enquête (élaborée par le CGS) regroupe l'ensemble des paramètres pouvant avoir une influence sur la réponse sismique des bâtiments et qui permet le calcul de l'indice de vulnérabilité. Cette fiche comprend les éléments principaux suivants :

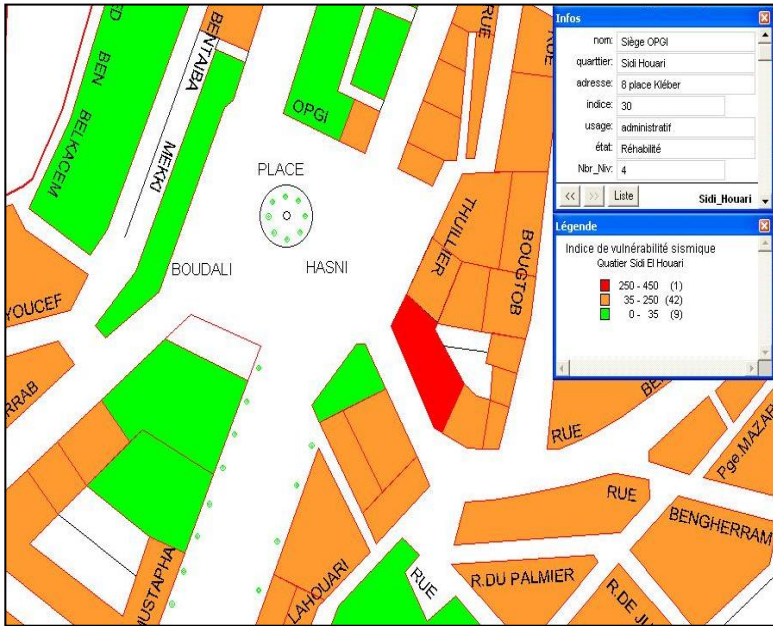
- a) Données générales (adresse, âge, etc...),
- b) Caractéristiques géométriques,
- c) Système structural
- d) Conditions du sol,
- e) Etat des éléments non structuraux,

Ces informations permettent d'évaluer qualitativement et quantitativement la qualité sismique des constructions.

5.2 Résultats

On obtient une carte synthétique de vulnérabilité des bâtiments à l'aide du calcul de l'indice de vulnérabilité (voir figure 2)

Figure n°2 : Classification des bâtiments suivant leur vulnérabilité sismique.



Ces cartes sont destinées à la production des plans de prévention et de gestion en cas de catastrophe.

6. Conclusion

L'analyse de la vulnérabilité sismique des bâtiments existants assure leur estimation en termes quantitatifs et qualitatifs, en particulier l'estimation de leur degré d'endommagement vis-à-vis des événements sismiques. L'estimation de cette vulnérabilité sismique a été menée dans cet article par une méthode de classification des bâtiments appelée « Méthode de l'indice de vulnérabilité ». Celle-ci consiste à attribuer une valeur numérique à chaque bâtiment, cette valeur est appelé *Indice de vulnérabilité*, I_v , qui représente la qualité sismique. Cette valeur numérique représente la somme calculée des valeurs numériques exprimant le niveau de résistance des éléments structuraux ou non structuraux jouant un rôle significatif dans la réponse sismique de la structure.

Cette étude a permis de mieux connaître la vulnérabilité du patrimoine bâti et par conséquent mettre en place une politique de développement et d'aménagement qui intégrera le risque sismique dans les différents plans d'urbanisme.

A partir de ce développement méthodologique nous avons créé un outil pour aider au renforcement du patrimoine vétuste et à

l'établissement de plans de prévention et de gestion des catastrophes à court, moyen et long terme selon l'estimation tout en réalisant les différentes mesures dans l'ordre de priorité.

7. Références

ATC 13. Earthquake damage evaluation data for California. Applied Technology council, Redwood City, 1987, California.

ATC 21. Rapid visual screening of building for potential seismic Hazard, a Handbook. Applied Technology council, FEMA 145, 1988, Redwood City, California.

Baddari, K., *Les séismes et leur prévision. Office des publications universitaires*, Alger, 1994.

Benedetti, D. & Petrini, V., *On seismic vulnerability of masonry buildings: proposal of an evaluation procedure. The industry of constructions*, Vol. 18, 1984, pp. 66-78.

Benedetti, D. ; Benzoni, G. et Parisi, M.A., "Seismic vulnerability and risk evaluation for old urban nuclei", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol.16, 1988, John Wiley and Sons, Ltd, pp. 183-201.

Billot, C. ; Durler, C. et Widmer, B., *Elaboration d'un outil d'estimation qualitative du risque naturel à moyenne échelle.* (2003). *Elaboration d'un outil d'estimation qualitative du risque naturel à moyenne échelle.* Ecole polytechnique de Lausanne (EPFL), 2002. 28p.

Braga, F. & al. A statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the MSK76 scale". Proc. 7th European Conference on Earthquake Engineering, 1982, Athens.

Chopra, A.K. & Goel, R.K.. Capacity-Demand-Diagram methods based on inelastic spectrum, *Earthquake Spectra*, 1999, pp. 637-656.

GNDT, Scheda di esposizione e vulnerabilità di rilevamento danni di primo livello. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 1994..

Hazus, Earthquake Loss Estimation Methodology – Technical and User Manuals. Federal Emergency management Agency, 1999, Washington, D.C.

Whitman, R.V. & al.. Earthquake damage probability matrices, *Proceeding of the fifth World Conference on Earthquake Engineering*, Roma, 1974, pp.25-31.