



Résistance aux séismes des constructions traditionnelles en Algérie : évaluation de la vulnérabilité (pathologies)

Réalisé par le groupe de recherche : A. Ikhlef1, D. Benouar2, M. Chemrouk1, A. Foufa3, M. Farsi4, A. Mimi5, M. Benouar1, F. Koudache1, N. Hadj Arab1
1. EPAU, 2. USTHB/DGC, 3. USTB, 4. CGS, 5. DGPC

L'évaluation de dommages causés par les séismes des constructions existantes constitue un élément primordial dans la philosophie de réduction des effets sismiques. Pour concrétiser cela, l'utilisation des facteurs de vulnérabilité a été récemment proposée et acceptée dans plusieurs pays dans le monde.

Dans la plupart des régions sismiques à travers le monde, les constructions existantes, anciennes, construites initialement sans la prise en compte du risque sismique et plus grave encore, n'ayant souvent pas fait l'objet d'études préalables d'engineering ou de contrôle d'exécution, présentent certainement un risque très important tant de point de vue économique que de celui des pertes en vies humaines. Le projet de recherche, domicilié à l'Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme (EPAU) s'inscrit dans la problématique de la « vulnérabilité et la réhabilitation du bâti existant » avec une attention toute particulière aux constructions traditionnelles qui se trouvent, de fait, les plus exposées au risque sismique. Les constructions traditionnelles considérées dans la présente recherche sont les structures conçues et mises en œuvre selon les usages et le savoir faire des communautés urbaines et rurales à un moment donné de l'histoire. Les usages constructifs et les matériaux employés sont ceux localement acceptés et basés sur la pierre, le bois, la terre, la brique et le béton. Cette recherche tente, par les défaillances (vulnérabilité, pathologie) des constructions endommagées durant les séismes, à les modéliser, et par conséquent identifier les indices de vulnérabilité. Ces indices de vulnérabilité et leur importance dans les dommages causés pourront servir à proposer des mesures préventives de réduction de risque sismique. Ce travail vise aussi à sensibiliser la communauté de l'EPAU à la dimension sismique du projet d'architecture qu'il faut absolument inclure à tous les niveaux de la réflexion et à toutes les échelles d'intervention de l'architecte, de la ville jusqu'à l'édifice. Il vise aussi à ouvrir un nouvel axe de recherche aux étudiants post graduants et à transmettre ainsi nos connaissances par le biais de l'encadrement.

Enfin, et à une échelle plus large, les résultats de cette recherche devront constituer un moyen fondamental devant guider les pouvoirs publics dans la formulation d'une stratégie de développement et de prise de décision pour les mesures de réduction du risque sismique du patrimoine bâti.

Les constructions existantes, anciennes, à travers le monde peuvent avoir des défaillances qui doivent être identifiées et évaluées par les architectes et les ingénieurs avant toute prise de décision relative aux mesures de réduction du risque sismique. Chaque défaillance doit être évaluée avec une grande prudence car un ensemble de problèmes particuliers complexes peut nous amener à la décision économique que la construction nouvelle peut être le seul choix viable. Un listing général, non exhaustif, représentatif de quelques pathologies observées dans certains bâtiments anciens, qui peuvent être résolues par une stratégie de dimensionnement par les architectes et ingénieurs, comprend ce qui suit :

| | |
|-----------------------------|--------------------------|
| Configuration de base | Site / Fondation |
| Matériaux de construction | Continuité verticale |
| Rigidité relative | Excentricité |
| Capacité de portance | Eléments non structuraux |
| Joint / connections | Diaphragmes horizontaux |
| Chainages verticaux | Chainages horizontaux |
| Poteaux courts | Ouvertures dans murs |
| Vétusté / âge / intempéries | Absence d'entretien |
| Mauvaise réparation | Négligence |

Le risque sismique peut être considérablement réduit en Algérie, comme dans d'autres pays en zones sismiques, seulement si des mesures sont prises pour protéger les bâtiments anciens, à maçonnerie non chaînée et non calculés, lesquels forment la majeure proportion des agrégats urbains. Pour cela, l'exposition aux dommages du bâti existant dans la zone concernée doit être évaluée.

Afin d'évaluer le risque sismique, la vulnérabilité des constructions à travers les événements sismiques doit être définie et quantifiée. La vulnérabilité exprime généralement le degré de dommage attendu d'un élément donné lors d'un séisme donné. Actuellement, pour la majorité des régions, une connaissance raisonnable de l'aléa sismique est disponible. Ce qui fait encore défaut est la connaissance des fonctions de vulnérabilité pour les éléments structuraux à risque, c'est à dire les fonctions de corrélation des aspects cités ci-dessus, en termes de dommage, et le niveau du mouvement du sol. Plusieurs critères d'évaluation de la vulnérabilité sont proposées dans la littérature. Le problème demeure toujours mal compris. Un critère approprié, par exemple, est d'arriver à décrire avec un certain degré de précision le comportement de la structure durant une excitation sismique. Le travail est compliqué, particulièrement, pour le cas des constructions anciennes, en maçonnerie de pierres non chaînées et non calculées, le comportement de la structure lequel la plupart du temps reste imprévisible. En d'autres termes, le critère accepté dans la philosophie décrite plus haut mais consommant beaucoup de temps, comprenant beaucoup d'incertitudes dans la modélisation de la structure et exigeant des professionnels extrêmement compétents, ne peut être appliqué à grande échelle.

La méthode traitée dans ce travail de recherche est basée sur l'évaluation des dommages enregistrés par rapport à l'excitation sismique.

EVALUATION DE LA VULNERABILITE SISMIQUE

L'excitation sismique est généralement exprimée en termes d'un seul paramètre, tel que l'intensité (I) et l'accélération de pointe maximale (PGA). Il est vrai qu'en utilisant un seul paramètre, l'information sur le mouvement du sol est limitée, conduisant à un large nuage des effets produits par des

événements sismiques différents caractérisés par la même valeur du paramètre considéré. Vu les différentes incertitudes dans le génie civil, l'adoption d'un seul paramètre de l'excitation sismique est presque obligatoire. Dans notre travail, le paramètre intensité (I) dans l'échelle MSK est utilisé pour décrire les effets de l'excitation. Il est clair que les dommages utilisés dans le développement des fonctions de vulnérabilité seront pris des résultats des différentes campagnes de terrain, après certains séismes, réalisées par le CGS et le CTC, stockés soit en fichiers informatisés soit en fiches cartonnées. Chaque fiche consiste à l'analyse détaillée de chaque construction en mentionnant clairement les coefficients pathologiques observés, concernant les éléments structuraux et non structuraux. Les informations collectées doivent être prudemment structurées, organisées et éventuellement saisies (dans le cas où elles ne le sont pas déjà) avant de pouvoir être exploitées. Dans chaque échantillon, une évaluation de l'importance des dommages par critère pathologique est réalisée. Ceci permettra de mieux apprécier les coefficients de vulnérabilité et conduira à une pondération adéquate de ces paramètres pathologiques et par conséquent au développement des fonctions de vulnérabilité avec un certain degré de fiabilité.

ESTIMATION DES DOMMAGES PAR STRUCTURE

La vulnérabilité sismique directe est exprimée par une fonction de dommages attendus aux constructions (légers, modérés, graves, effondrement) selon l'intensité de l'événement. Evaluer la vulnérabilité sismique d'une structure signifie donc exprimer de telles fonction de dommages, c'est à dire en d'autres mots prévoir le comportement d'une structure donnée lors d'un séisme donné.

Des études antérieures ont montré que des événements de même intensité (I) ont causé des dommages considérablement différents sur les constructions. Malgré le développement des connaissances des mouvements forts du sol, l'intensité reste un paramètre important dans l'observation des dommages enregistrés lors des derniers séismes, à compter de celui d'El Asnam du 10 Octobre 1980. La quantité de dommages enregistrée dans chaque structure expertisée est obtenue en attribuant à chaque élément une valeur dans une échelle graduée représentée par des niveaux et des couleurs (Tableau 1). Le dommage total de la structure est égal à la somme des dommages enregistrés de toutes les composantes structurelles et non structurelles du bâtiment. L'importance des dommages est exprimés en pourcentage.

| Dommage | Nul | Léger | Modéré | Important | Destruction |
|-------------|-------|-------|--------|-----------|-------------|
| Niveaux | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Couleur | Verte | Verte | Orange | Orange | Rouge |
| Pourcentage | 0 % | 25 % | 50 % | 75 % | 100 % |

Tableau 1 : Echelle d'évaluation des degrés des dommages

Pour une structure donnée, le dommage est compris entre 0 et 100%. Cette méthode de coefficients de vulnérabilité permet d'identifier les éléments structuraux et non structuraux susceptibles d'influer considérablement le comportement sismique du bâtiment considéré. L'indice de vulnérabilité (V) pour chaque structure est constitué de la somme des produits de tous les degrés d'appréciation des critères pathologiques par leurs coefficients de pondération. Il est représenté par une fonction de la forme suivante :

$$V = V_m * a + E_s * b + C_m * c + I_e * d + A_{ss} * e + R_f * g$$

Où V représente l'indice de vulnérabilité de la structure, les coefficients $V_m, E_s, C_m, I_e, A_{ss}, R_f$, etc. représentent les paramètres pathologiques observés et a, b, c, d, e, g, etc. représentent leurs coefficients de pondération.

CORRELATION OU FONCTION DE VULNERABILITE

La corrélation (ou fonction de vulnérabilité) entre les dommages enregistrés (D) et les indices de vulnérabilité déterminés (V) peut être développée sous l'une des formes suivantes :

| | |
|------------------------|-------------------------------------|
| Fonction linéaire : | $D = ? * V + ?$ |
| Fonction quadratique : | $D = ? * V^2 + ? * V + ?$ |
| Fonction cubique : | $D = ? * V^3 + ? * V^2 + ? * V + ?$ |

L'analyse des paires (D, V) permettra de déterminer les coefficients de régression $?, ?, c, ?$ et $?$ par la méthode des moindres carrés, et par conséquent la fonction de vulnérabilité. La fonction de vulnérabilité nous permettra, en fonction de l'indice de vulnérabilité du bâtiment, de prévoir un degré de dommage attendu avec un certain degré de fiabilité. Cette méthode basée sur les facteurs de pathologie nous permettra de dimensionner les mesures préventives à appliquer pour les bâtiments existants dans les zones sismiquement actives dans le cadre de la politique de la réduction du risque sismique.

CONCLUSION

L'analyse de la vulnérabilité sismique et la détermination des fonctions de vulnérabilité permettront de renforcer les constructions existantes en fonction des paramètres de vulnérabilité déterminés, en incluant sa capacité de résistance aux efforts latéraux générés par les séismes. Il est très important donc d'identifier ces paramètres pathologiques des structures qui jouent un rôle significatif dans le dommage global. L'intervention sismique doit être concentrée sur ces éléments afin de réduire le coût total du renforcement.

En Algérie, les séismes modérés, tels que ceux de Mascara (1994), Alger (1996) et Ain Témouchent (1999), causent, en moyenne, des pertes de plusieurs millions de Dollars. Il est recommandé que les mesures préventives soient prises tendant à améliorer la connexion des différents éléments et diaphragmes horizontaux pour considérablement réduire les dégâts et les pertes encore causés par les séismes modérés, au moyen d'intervention à moindre coût. Il est bien entendu que l'analyse de la vulnérabilité combinée avec l'aléa sismique de la zone considérée nous donnera le niveau de risque sismique attendu ; les résultats obtenus doivent contribuer considérablement dans la formulation générale de la stratégie de réduction des pertes en vies humaines et en matérielles.

Ce projet de recherche est un projet à long terme dépendant beaucoup de l'accumulation des données, c'est à dire des événements sismiques et des dégâts causés aux différentes structures. Il est clair aussi que les paramètres pathologiques des bâtiments existants peuvent aussi être déterminés par une lecture archéologique adéquate en termes d'architecte et d'ingénieur. A une échelle plus large, les résultats de cette recherche devront constituer un moyen fondamental devant guider les pouvoirs publics dans la formulation d'une stratégie de prise de décision pour les mesures préventives et de préparation dans le cadre de la réduction du risque sismique.