



## Développement d'un outil SIG d'estimation des dommages sismiques Cas de la ville de Tlemcen (Ouest Algérien)

Mohammed Tewfik RACHEDI\* et Djawed ZENDAGUI

*Université AbouBakr Belkaid, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Laboratoire RISAM,  
BP 230 Tlemcen, Algeria*

\* Correspondance, courriel : [rachedi\\_tewfik@yahoo.fr](mailto:rachedi_tewfik@yahoo.fr)

### Résumé

L'Algérie est exposée au séisme, il est donc urgent de développer un outil de simulation et d'estimation de dommages sismique. Le but de cet article est d'estimer le risque sismique pour la ville de Tlemcen. Pour atteindre cet objectif, la méthodologie de simulation présentée dans le programme "HAZUS" en combinaison avec les systèmes d'information géographique (SIG) ont été utilisés. La ville a été divisée en plusieurs parties qui reflètent la typologie du tissu urbain qui à son tour n'est pas uniforme, puisque les structures modernes sont parfois situées à proximité des structures anciennes. L'événement sismique a été simulé en utilisant le catalogue algérien des failles actives. Les résultats obtenus montrent que les constructions les plus endommagées sont celles qui reposent sur des sols meubles.

**Mots-clés :** *SIG, risque sismique, probabilité de dommages, courbes de fragilité, Hazus.*

### Abstract

#### **Use of a GIS tool for estimating seismic damage of the city of Tlemcen (Western Algeria)**

Algeria is exposed to seismic action, it is thus urgent to estimate seismic risk. The aim of this paper is to estimate the seismic risk for the city of Tlemcen. To reach this goal, the methodology of simulation presented in the program "HAZUS" together with the geographical information system (GIS) tools have been used. The city has been divided into multiple part that reflect the typology of the structure which is in turn not uniform since modern structure are sometimes located near old structure. The seismic hazard has been taken from the Algerian catalogue of active fault. The obtained results show that the most affected area is that located on soft soil.

**Keywords:** *GIS, Earthquake risks, probability of damages, fragility curves, Hazus*

### 1. Introduction

Les approches d'étude du risque sismique deviennent de plus en plus diversifiées, proposant à travers des études d'estimation des dommages, des solutions concrètes de protection face à des scénarii potentiels de catastrophes.

**Mohammed Tewfik RACHEDI et Djawed ZENDAGUI**

Un important travail de recherche mené par des scientifiques nord-américains aboutit en 1997 au lancement d'un premier outil d'estimation du risque sismique (HAZUS) à travers une méthodologie innovante du point de vue technique. L'approche offre des solutions à tous les niveaux d'analyse, en passant par l'estimation des dommages directs au bâti face à une sollicitation sismique simulée par l'utilisateur jusqu'à l'évaluation des pertes économiques indirectes. Dans ce travail nous essayons de contribuer à l'estimation de dommages sismique dans notre pays (Algérie). La méthodologie d'estimation de dommages sismiques développée dans le programme (HAZUS) a été exploitée et adaptée au contexte algérien. Dans ce sens, les principaux paramètres nécessaires à une étude post-sismique, les différentes étapes d'analyse et les résultats sous forme de probabilités de dommages sont présentés. Par ailleurs, un programme sous environnement Mapbasic a été développé pour gérer les données ce qui facilite leurs exploitations sous un système d'informations géographiques (SIG). Cet outil sera exploité afin d'évaluer le risque sismique sur la ville de Tlemcen (Algérie). Cette ville n'a pas connu de séisme violent durant son histoire mais présente deux caractéristiques importantes : sa proximité de la limite de confrontation des plaques africaine et eurasiatique (70 Km) et son dense et diversifié tissu urbain. Elle est classée en zone une (I) selon les Règles Parasismiques Algériennes *RPA99*[1].

## 2. Méthodologie

L'approche utilisée pour l'estimation des dommages repose sur la méthode du spectre de capacité (MSC) utilisée dans le modèle *HAZUS99* [2]. Cette méthode a été développée par plusieurs chercheurs (Mahaney, 1993 [3]; Paret, 1996 [4]; Chopra et Goel, 1999 [5] & 2001 [6]; Fajfar, 1999 [7] & 2000[8] ; Comartin et al, 2000 [9]) , elle se base sur l'utilisation des courbes de capacité pour estimer l'endommagement sismique. Les étapes de la modélisation du dommage sismique sont présentées comme suit :

### 2-1. Définition de la courbe de capacité et classification des structures

La courbe de capacité a un rôle déterminant dans l'estimation des dommages car elle décrit le comportement du bâtiment face à toute sollicitation sismique. Elle conditionne ainsi, en fonction de la demande imposée au bâti, le niveau d'endommagement. Nous avons utilisé les courbes de capacité issues de *HAZUS99*[1]. Pour les structures, leur classification est basée sur le type de contreventement ainsi que la hauteur des constructions. Nous avons choisi les types de contreventements définis dans les *RPA99* [1] les plus répandus dans notre pays (Algérie), c'est à dire les structures en béton armé et les structures en maçonneries. Il est à noter que le choix des courbes de capacité issues de *HAZUS99* [1] a été mené en prenant en compte le contexte du bâti en Algérie.

### 2-2. Définition du scénario sismique

La méthode du spectre de capacité, que nous allons utiliser ici, considère comme sollicitation donnée le spectre d'accélération sismique. Nous allons utiliser le spectre de référence donné par les Règles Parasismiques Algérienne *RPA99* [1]. Ce spectre dépend du coefficient d'accélération de zone A qui est un des facteurs qui caractérise l'événement sismique. Deux méthodes sont utilisées pour la détermination de ce coefficient. La première méthode se base sur le zonage sismique défini dans les *RPA99*[1]. La deuxième méthode considère que l'événement sismique est caractérisé avec une magnitude connue ou bien par une faille dont les caractéristiques sont connues. La relation de *Wells et Coppersmith* (Hazus, 1999) [2] définie par l'équation (1) est utilisée pour le calcul de la magnitude en fonction de la longueur de la faille.

Pour le calcul du PGA (*Peak ground acceleration ou accélération au sol maximale*) on utilise la loi d'atténuation donnée par l'équation (2) établie par Ambraseys (Benouar, 1998) [2]. Le PGA calculé est défini comme le nouveau coefficient d'accélération de zone (A).

$$M = \frac{\log_{10}(L) - a}{b} \tag{1}$$

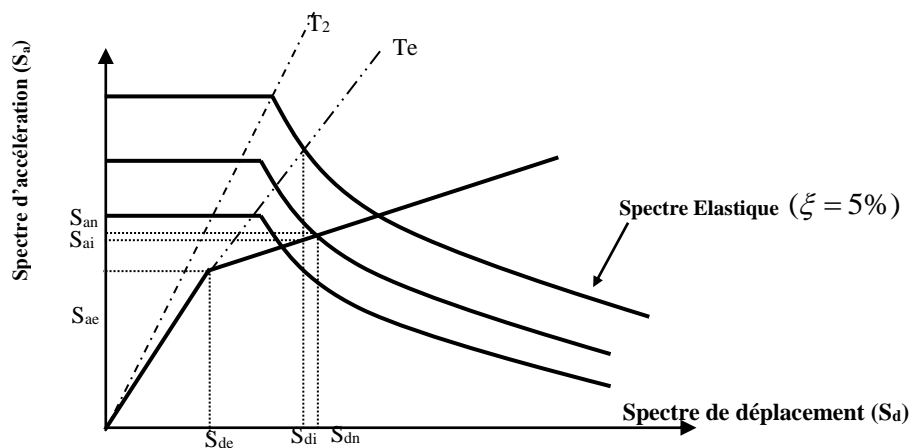
L : est la longueur de la faille en Kilomètres, M : est la magnitude du séisme, a et b coefficient en relation avec le type de la faille. (Profonde ou de surface).

$$\log_{10}(PGA) = -1,43 + 0,2455 \times M_s - 0,786 \times \log_{10}(R) - 0,0010 \times (R) \tag{2}$$

R : est la distance hypocentrale (Km).  $R = \sqrt{D^2 + H^2}$  , D : distance épacentrale. (km) , H : profondeur focale. (km)

### 2-3. Obtention du point de demande

Nous allons déterminer ensuite la position du «point de demande», défini par le croisement de la courbe de capacité avec la sollicitation sismique (**Figure 1**).



**Figure 1 : Obtention du point de demande sismique**

Le spectre de demande sismique élastique est obtenu par l'équation (3) :

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae}(T) \tag{3}$$

Ensuite on trace la courbe qui représente  $S_{ae}$  en fonction de  $S_{de}$ . Cette courbe représente le spectre de demande élastique avec un coefficient d'amortissement de 5% (**Figure 1**). ; Représenter la courbe de capacité du type de bâtiment à étudier dans le même plan ; calculer le déplacement initial  $S_{di}$  qui présente l'intersection entre le prolongement du segment élastique de la courbe de capacité et le spectre élastique ; calculer le facteur de ductilité.  $\mu_i = S_{di} / S_{de}$  .

Calculer le facteur de réduction  $R_{\mu_i}$  en utilisant la relation suivante :

$$\begin{cases} R_{\mu_i} = (\mu_i - 1) \frac{T}{T_2} + 1 & T < T_2 \\ R_{\mu_i} = \mu_i & T \geq T_2 \end{cases} \quad (4)$$

Calculer et tracer le nouveau spectre de demande sismique réduit ( $S_{ai}, S_{di}$ ).

$$S_{ai}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_{\mu_i}} \quad (5)$$

$$S_{di}(T) = \frac{\mu_i}{R_{\mu_i}} S_{de}(T) = \mu_i \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ai}(T) \quad (6)$$

Calculer le nouveau point d'intersection de la courbe de capacité et du spectre de demande inélastique ( $S_{an}, S_{dn}$ ). Si  $0,95 \times S_{di} \leq S_{dn} \leq 1,05 \times S_{di}$  le nouveau point ( $S_{an}, S_{dn}$ ) est le point de performance recherché où la demande est égale à la capacité. Sinon reprendre les étapes de (d) à (g) avec comme déplacement initial  $S_{di}$  égal à  $S_{dn}$ .

#### 2-4. Application des courbes de fragilité

Nous avons ensuite appliqué des courbes de fragilité afin de calculer la probabilité d'endommagement associée à différents niveaux de dégâts. Ces courbes sont des relations issues de HAZUS99 [2]. A partir des coordonnées du point de demande, nous obtenons la probabilité d'endommagement d'un type de bâtiments donné, en fonction de plusieurs niveaux de dommages. La probabilité du dommage qui correspond à un déplacement (Sd) par rapport à un niveau de dommage (Nd) est calculée par la formule de Chintanapakdee et Chopra [12] utilisée dans la méthodologie Hazus:

$$P[Nd / S_d] = \Phi \left[ \frac{1}{\beta_{Nd}} \ln \left( \frac{S_d}{\bar{S}_{d, Nd}} \right) \right] \quad (7)$$

$\bar{S}_{d, Nd}$  est la valeur moyenne de déplacement pour le niveau d'endommagement (Nd);

$\beta_{Nd}$  est l'écart type du déplacement pour le niveau d'endommagement (Nd);

$\Phi$  est la loi de distribution normale standard.

#### 2-5. Probabilités totales de dommages

Après le calcul des probabilités pour chaque zone et pour les différents types de structures. On peut calculer les probabilités totales de dommages pour chaque zone de la ville en utilisant l'Equation 8 :

$$PT[Nd / S_d] = \left( \sum_{i=1}^n (P_i[Nd / S_d] \times S_i) \right) / \sum_{i=1}^n S_i \quad (8)$$

$P_i [Nd/Sd]$ : Probabilité de dommage du type de structure (i) pour un niveau (Nd) et un déplacement spectral Sd ;  $PT [Nd/Sd]$ : Probabilité total de dommage pour un niveau (Nd) et un déplacement spectral Sd.  
 $S_i$ : Surface partiel du type de Bâtiment i.

### 3. Application de la méthodologie (cas de la ville de Tlemcen)

Après la description de la méthodologie d'estimation de dommages sismiques, nous remarquons que son application nécessite un outil numérique qui facilitera la saisie des données, leurs analyses ainsi que la visualisation des résultats. Pour cela, nous avons choisi d'utiliser le système d'information géographique (SIG). L'application de la méthodologie sera faite sur la ville de Tlemcen. Les probabilités totales les plus importantes des quatre niveaux de dommages léger, moyen, important et complet ont été calculées pour l'ensemble de la ville de Tlemcen. Dans le présent article, seul les résultats des dommages complets seront présentés. La ville est modélisée en vingt et une (21) zones qui représentent soit un quartier ou une commune comme on peut apercevoir sur la **Figure 2** [11]. Pour chaque zone de la ville, nous avons calculé les différents pourcentages surfaciques de chaque type de structures par rapport à l'ensemble de la zone bâtit. L'événement sismique a été introduit de deux façons différentes, dans un premier cas conformément au *RPA 99* [1], nous considérons un PGA égale à 0,1g, dans le deuxième cas, on suppose qu'une faille sismique située près de la ville génère un séisme. Nous avons retenu la plus longue ; elle se trouve au nord ouest et elle s'étale sur une distance de 10 Km (**Figure 2**) [11]. Comme nous n'avons pas d'indication sur la profondeur, nous avons considéré une profondeur du foyer de 5 Km et ce au vu du contexte tectonique de la région.

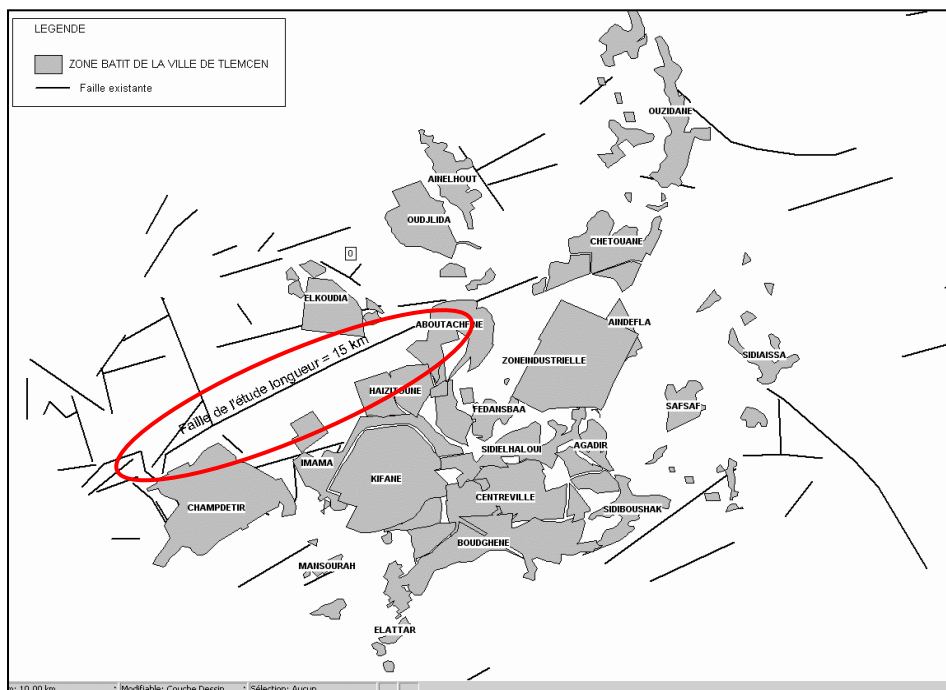


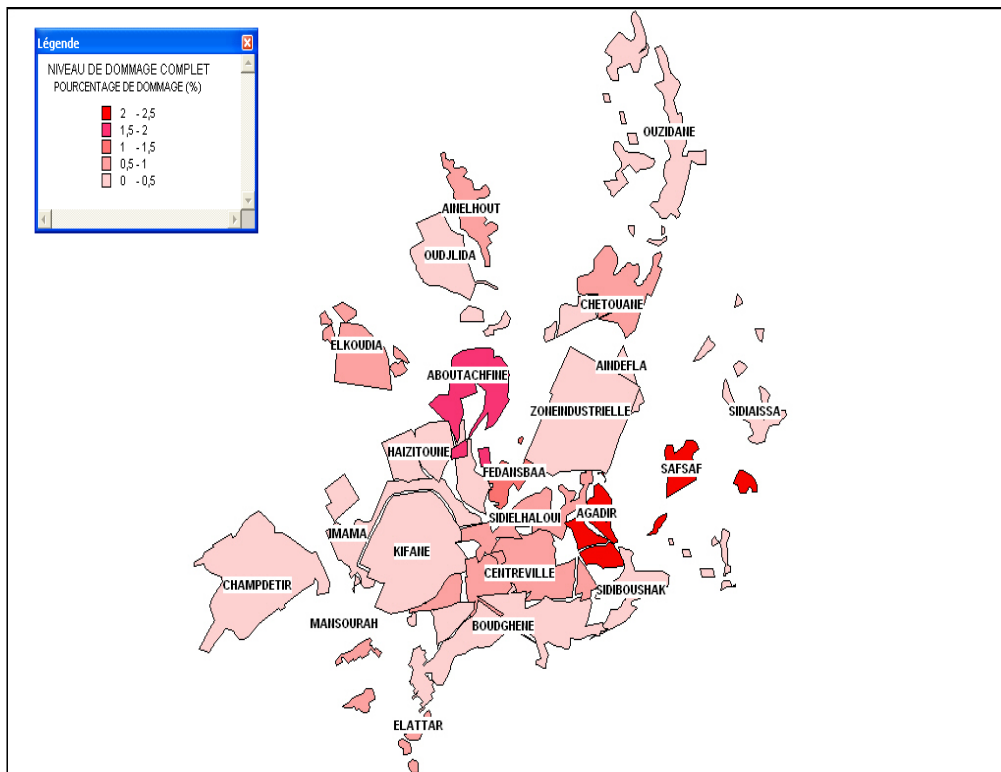
Figure 2 : Faille considérée pour l'introduction de l'événement sismique (ANAT 2004)

## 4. Résultats et discussion

### 4-1. Résultats de la première étude

La **Figure 3** décrit la répartition du dommage complet en pourcentage par rapport au parc bâti du quartier. Notons que les zones de Safsaf et Agadir présente avec 2,5% un fort pourcentage de dommage complet comparativement aux autres quartiers.

Ce résultat montre que sur 200 maisons, cinq subiront un dommage complet synonyme de pertes humaines élevées. Il est à noter que le parc bâti de ces zones est constitué de structures en maçonnerie reposant sur un sol meuble.



**Figure 3 : Répartition des dommages complets**

#### 4-2. Résultats de la seconde étude

La seconde étude est différente de la première dans le sens où le PGA n'est pas constant mais dépend de la distance qui sépare le site étudié de la faille. Après introduction des données liées au premier foyer (profondeur = 5 Km et longueur de la faille = 10 Km) le PGA a été calculé au centre de chaque zone de la ville. Le PGA le plus important est enregistré pour le quartier de Hai Zitoune (0.32 g). Les zones les moins sollicitées sont El Attar et Ouzidane (0,12g et 0,13g). La **Figure 4** présente la répartition des PGA sur toute la ville. La **Figure 5** présente le niveau de dommages complets pour chaque zone de la ville. Le pourcentage le plus élevé du niveau des dommages complets est enregistré pour la zone de Safsaf (30.89%). On peut donc dire que cette zone peut être sérieusement touchée. Il convient de noter que l'augmentation de l'accélération de 0,1g (Modèle RPA) à 0,3g (Modèle Faille) entraîne une multiplication par quinze du pourcentage de la probabilité de dommage complet (de 2,5% à 30,89%).

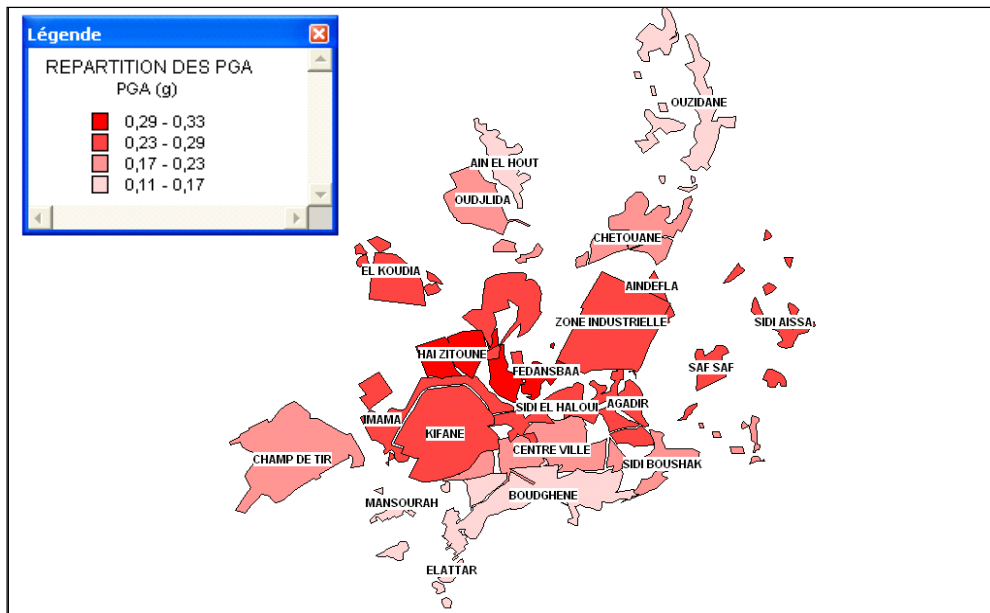


Figure 4 : Répartition des PGA calculés

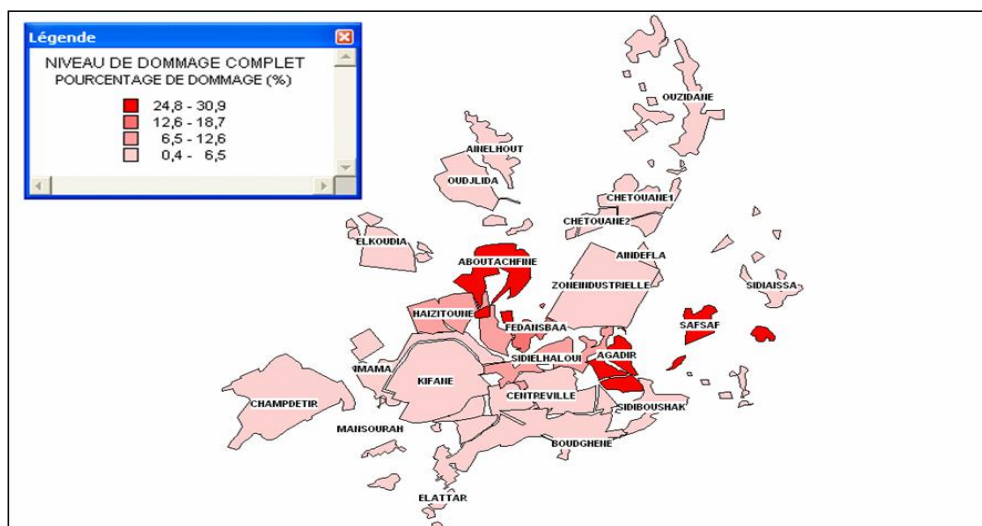


Figure 5 : Répartitions des Dommages complets

## 5. Conclusion

L'objet du présent article est d'estimer le risque sismique au niveau de la ville Tlemcen. Pour ce faire, les principales étapes de modélisation des dommages sismiques basées sur la méthodologie présentée dans le modèle HAZUS ont été utilisées. Nous avons développé un outil informatique à l'aide du langage de programmation «MapBasic» qui fonctionne sous «Mapinfo» et ce pour intégrer les calculs de façon automatique. Cet outil est nécessaires pour l'introduction des données liées aux structures et au types de sols, leurs analyse ainsi que la présentation des résultats sous forme de pourcentages de dommages ou de cartes de risques. Cet outil a été appliqué à la ville de Tlemcen en utilisant des données concernant le bâti, les types de sol et les failles sismiques existantes et en se basant sur différentes cartes caractéristiques de la ville.



Dans une première étude, et comme la ville est classée en zone I selon les règles parasismiques algériennes RPA99 [1], nous avons choisi d'introduire un événement sismique caractérisé par un  $PGA=0,1g$  pour toute la ville. Dans la deuxième étude, nous avons introduit l'événement sismique sous forme d'une faille sismique d'une profondeur du foyer de 5 Km. Les probabilités de dommages ont été présentées sous forme de cartes de risques. Les résultats obtenus ont montré qu'une multiplication par trois de l'accélération maximale au sol (PGA) induit une multiplication par quinze de la probabilité de dommages complets. Les résultats peuvent être exploités par les responsables locaux afin de définir les pertes consécutives à un événement choisi, le développement de plans ORSEC ou de plans directeurs du développement de la ville.

### Références

- [1] - RPA99. *Les règles parasismiques algériennes RPA99 / version 2003*, document technique réglementaire DTR B C 2 48. Ministère de l'habitat et de l'urbanisme (2003).
- [2] - Hazus 99 Manual Technique. *HAZUS 99 Earthquake loss estimation methodology*. Federal emergency management agency (FEMA) (1999).
- [3] - J. A. MAHANEY, F. P. TERRENCE, E. K. BRYAN and A. F. SIGMUND, *The Capacity Spectrum Method for Evaluating Structural Response during the Loma Prieta Earthquake*. Proceedings of the 1993 United States National Earthquake Conference, Memphis, Tennessee. Vol.2, (1993) Pages 501-510.
- [4] - T. F. PARET, K. K. SASAKI, D. H. EILBECK, S. A. FREEMAN, *Approximate Inelastic Procedures to Identify Failure Mechanism from Higher Mode Effects*. Proceedings of 11th World Conference on Earthquake Engineering; Mexico (1996).
- [5] - A. K. CHOPRA, R. K. GOEL, *Capacity Demand Diagram Methods Based on Inelastic Design Spectrum*. Earthquake Spectra, N° 15, (1999) pages 637 – 656.
- [6] - A. CHOPRA, R. GOEL, *A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demands for Buildings: Theory and Preliminary Evaluation*. PEER Report 2001/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley ; Etats – Unis (2001) 97 pages.
- [7] - P. FAJFAR, (1999). *Capacity Spectrum Methods Based on Inelastic Demand Spectra*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, N° 28, pages 979 – 993.
- [8] - P. FAJFAR, *A Non Linear Analysis Methods for Performance – Based Seismic Design*. Earthquake Spectra, N° 16, (2000) pages 573 – 591.
- [9] - C. COMARTIN, R. NIEWIAROWSKI, S. A. Freeman, F. Turner, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings: A practical Overview of the ATC 40 Document*; Earthquake Spectra, N° 16, (2000) pages 241 – 261.
- [10] - A. BEKKOUCHE, A. DJEDID & N. BOUSMAHA «*Aspects expansifs des marnes de Tlemcen*». 1er Séminaire National de Géotechnique et Génie Civil, Alger (1999).
- [11] - Agence National de l'Aménagement du Territoire «*Carte de révision du P.D.A.U- état de fait du groupement de Tlemcen - Mansourah et Chetouane*». [ANAT 2004].
- [12] - C. CHINTANAPAKDEE, A. K. CHOPRA, *Evaluation of modal pushover analysis using generic frames*. Earthq Eng Struct Dyn 32, (2003) p.417-424.
- [13] - H. ALEX BARBAT, G. LUIS PUJADES, Nieves Lantada. *Seismic damage evaluation in urban areas using the capacity spectrum method: Application to Barcelona*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 28, Issues 10–11, October–November 2008, Pages 851-865.
- [14] - AHMED MEBARKI, MEHDI BOUKRI, ABDERRAHMANE LARIBI, MOHAMMED FARSI, MOHAMED BELAZOUGUI, FATTOUM KHARCHI, *Seismic vulnerability: theory and application to Algerian buildings*. Journal of Seismology April 2014, Volume 18, Issue 2, pp 331-343.