



## **Evaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments en béton armé par l'utilisation des courbes de fragilités (Seismic vulnerability assessment of reinforced concrete Buildings using fragility curves)**

**M. Mouzzoun<sup>\*</sup>, O. Moustachi<sup>1</sup>, A. Taleb<sup>2</sup>**

<sup>(\*)</sup> *Dép. Génie Civil- Ecole Mohammedia d'Ingénieurs, Rabat, Maroc*

<sup>(1)</sup> *Dép. Génie Civil – Ecole Mohammedia d'Ingénieurs, Rabat, Maroc*

<sup>(2)</sup> *Dép. Génie Civil – Ecole Mohammedia d'Ingénieurs, Rabat, Maroc*

Received 11 Mar 2012, Revised 27 May 2012; Accepted 27 May 2012

\* Corresponding author : E-mail : [mouzzoun78@gmail.com](mailto:mouzzoun78@gmail.com).

### **Abstract**

The study of damage in the wake of recent earthquakes in the United States (1989 Loma Prieta, Northridge 1994), Japan (Kobe 1995), Canada (Saguenay 1988) and in other parts of the world has demonstrated the seismic vulnerability of existing buildings. In urban areas, this vulnerability, combined with a significant concentration of buildings built before the introduction of seismic standards, may result in a high seismic risk, even in areas where the seismicity is considered moderate. The seismic vulnerability of buildings can be assessed by quantifying the damage to structural and non structural elements, the use of fragility curves is a powerful tool in this area, and we propose in this paper to assess the seismic vulnerability of a reinforced concrete building by the use of fragility curves.

*Keywords* : damage, vulnerability, pushover, fragility, earthquake, analysis, building

### **Résumé**

L'étude des dommages subis à la suite des derniers tremblements de terre aux Etats-Unis (Loma Prieta 1989, Northridge 1994), au Japon (Kobé 1995), au Canada (Saguenay 1988) et dans d'autres régions du monde a mis en évidence la vulnérabilité sismique des bâtiments existants. En milieu urbain, cette vulnérabilité, combinée à une concentration importante de bâtiments construits avant l'introduction des normes parasismiques, peut entraîner un risque sismique élevé, même dans les zones où la sismicité est considérée modérée. La vulnérabilité sismique des bâtiments peut être évaluée par la quantification des dommages aux éléments structurels et non structurels, l'utilisation des courbes de fragilité est un outil performant dans ce domaine, ainsi on se propose dans cet article d'évaluer la vulnérabilité sismique d'un bâtiment en béton armé par l'utilisation des courbes de fragilités.

*Mots clés* : dommage, vulnérabilité, pushover, fragilité, seisme, analyse, bâtiment

### **1. Introduction**

Les informations sur le degré de dommage que subira une structure au cours d'un avènement sismique sont extrêmement importantes pour une analyse fiable des risques des constructions soumises à des mouvements sismiques forts. La survenance d'un dommage de différents degrés est un processus aléatoire, donc, le seul outil approprié pour prédire la distribution des dommages attendu serait probabiliste. Les relations utilisées pour caractériser la distribution des dommages sont sous la forme de distributions de probabilités conditionnelles des états de dommages spécifiés à chaque mouvement sismique et sont généralement exprimés en termes de matrices de probabilité de dommages, ou des courbes de fragilité [18]. Les courbes de fragilité indiquent la probabilité qu'un bâtiment atteigne un certain niveau de dommage ou de performance pour une demande sismique donnée, laquelle est exprimée par l'intensité sismique ou la demande spectrale.

## 2. Courbes de fragilités

Les courbes de fragilités sont des fonctions log normales, qui décrivent la probabilité d'atteindre ou dépasser un niveau de dommage structurel, pour un déplacement ou une accélération données. Selon HAZUS[18,19] le dommage est décrit par un seul ou quatre niveaux de dommages : slight, moderate, Extensive, Complete.

Ces courbes, définies pour les dommages structurels ainsi que non structurels, ont été mises au point à partir d'extrapolations des données liées aux dommages observés, sur dires d'experts ainsi que sur des tests de laboratoire (ATC, 1985). Elles ont été notamment calibrées avec de données consécutives aux séismes de Loma Prieta (1989) et de Northridge (1994). Pour chaque valeur donnée de la réponse spectrale, la probabilité d'avoir un état de dommage discret, est calculée comme étant la différence des probabilités cumulées d'atteindre, ou de dépasser, des états de dommages successifs. Chaque courbe de fragilité, de type log-normale, est défini [17] par une valeur médiane de la demande sismique  $S_{d,ds}$  (déplacement spectral, accélération spectrale) qui correspond à l'atteinte d'un état d'endommagement  $ds$  et par l'écart type  $\beta_{ds}$  associé à cet état de dommage.

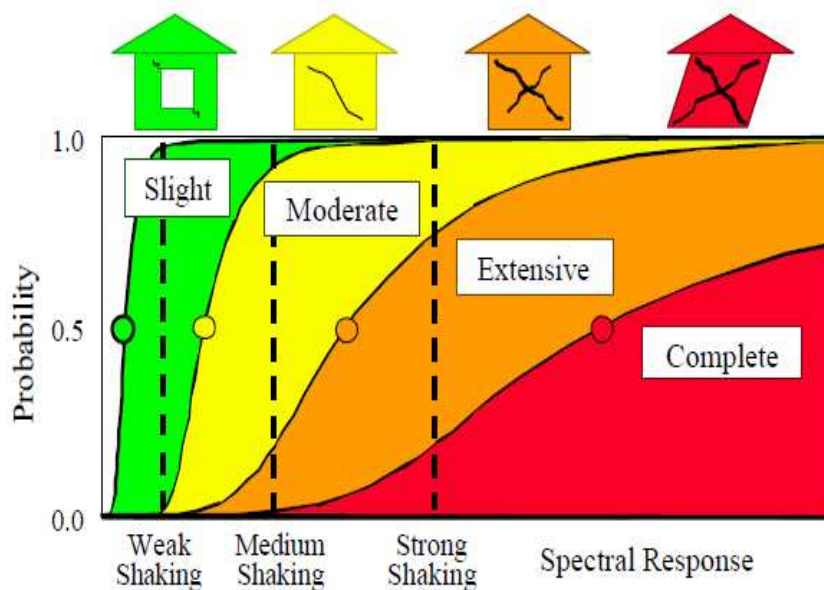
La probabilité d'atteindre ou de dépasser un niveau d'endommagement  $ds$ , pour une demande sismique  $S_d$  est donnée par :

$$P(d_s/S_d) = \Phi\left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln\left(\frac{S_d}{S_{d,ds}}\right)\right] \quad (1)$$

$\Phi$  : la distribution normale cumulée

$S_{d,ds}$  : la valeur moyenne du déplacement  $d$  pour le niveau d'endommagement  $ds$

$\beta_{ds}$  : l'écart type du déplacement pour le niveau d'endommagement  $ds$



**Figure 1.** Niveaux d'endommagement décrits par les courbes de fragilités [17]

## 3. Application

### 3.1. Description du bâtiment

Le bâtiment étudié est un bâtiment en béton armé [2], à usage d'habitation, composé d'un rez de chaussée plus cinq étages. La structure résistante est composée de dalles pleines d'épaisseurs 12cm, les poutres principales sont de section (25x30) cm, tandis que les poteaux sont de section (30x30) cm, la hauteur de chaque niveau est de 3m. Le bâtiment est situé en zone sismique 3, implanté sur un sol type  $S_2$ . Le béton utilisé est un béton de résistance 25Mpa, acier HA500, le ferrailage des poutres est (4 $\Phi$ 16 ferrailage supérieur, 4 $\Phi$ 16 ferrailage inférieur), le ferrailage des poteaux est (8  $\Phi$ 16). Le bâtiment est dimensionné selon le règlement parasismique marocain RPS2000[1].

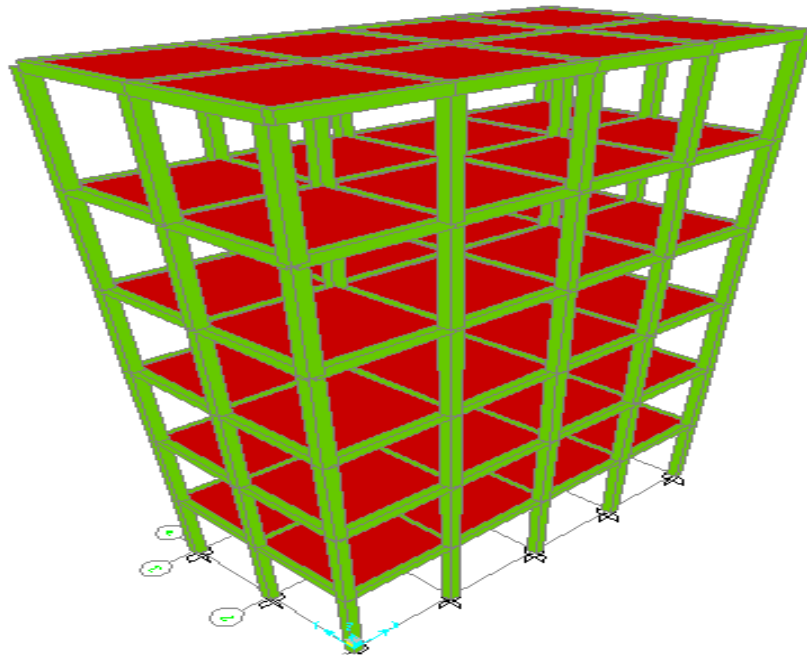


Figure 2. Vue 3D du bâtiment

### 3.2. Analyse pushover

Afin d'évaluer la vulnérabilité sismique du bâtiment, une analyse pushover à été faite, moyennant le logiciel SAP2000v14 [10,11]

Pour l'analyse pushover trois cas ont été considérés :

PUSHG : application des charges gravitaires

PUSHX : application du chargement latéral dans la direction X-X

PUSHY : application du chargement latéral dans la direction Y-Y

## 4. Resultats et discussion

### 4.1. Courbes pushover

Les courbes pushover ont été établis en utilisant le logiciel sap2000v14 [10,11]

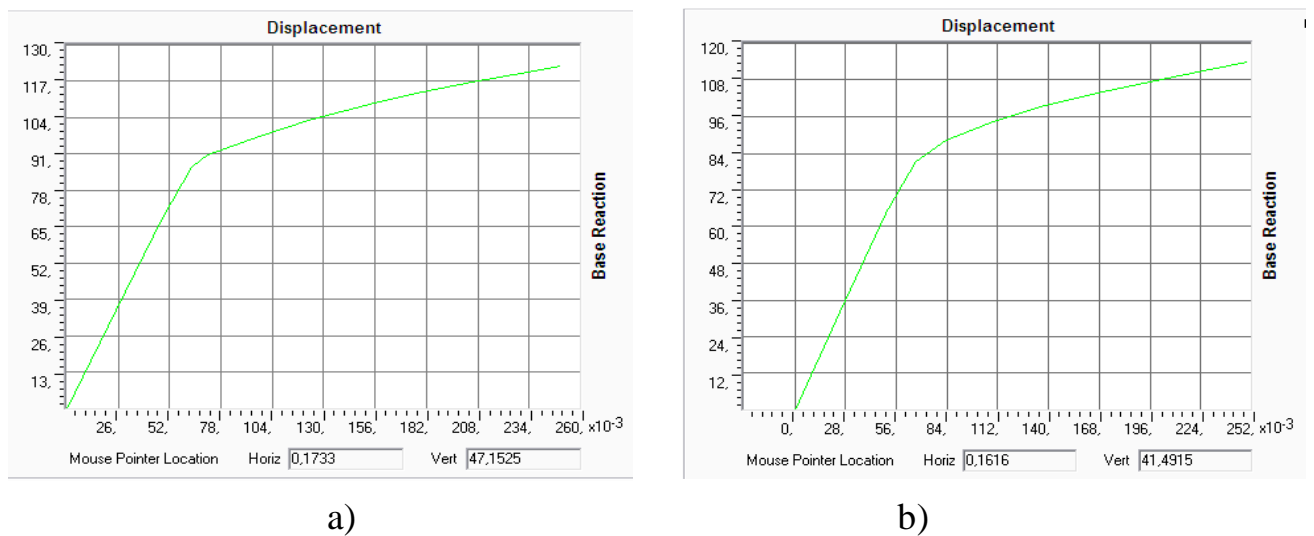
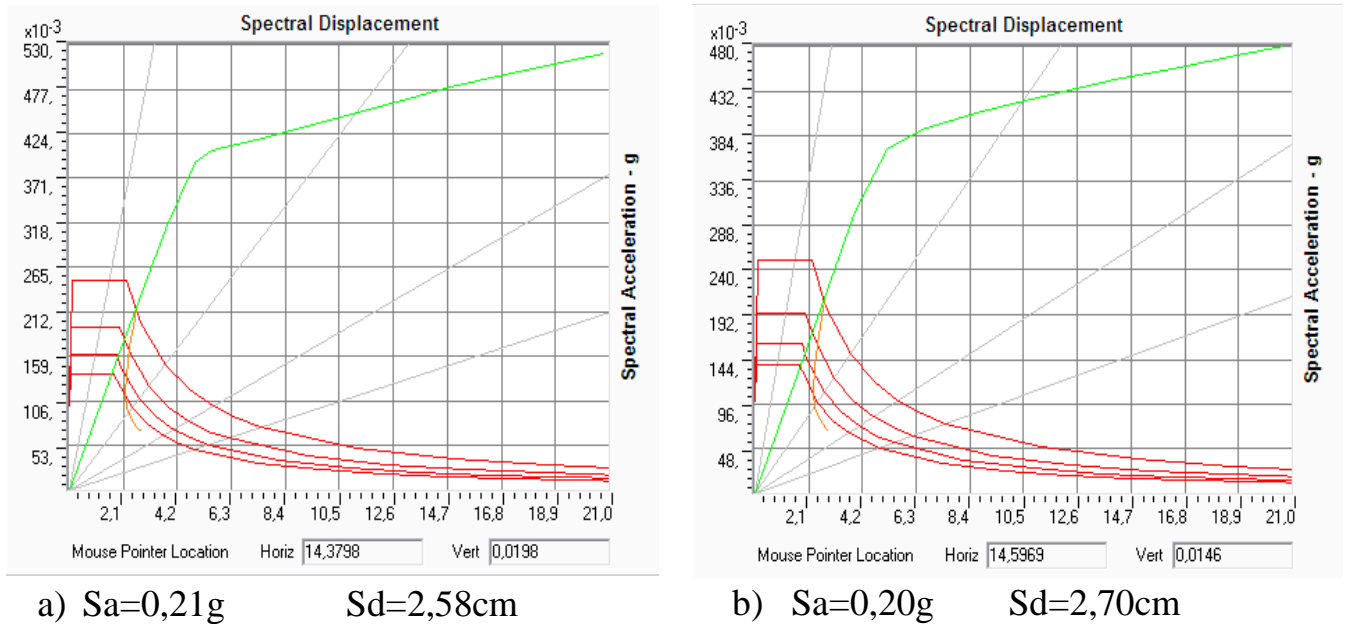


Figure3.a) courbe pushover/Direction X-X, b) courbe pushover/Direction Y-Y



**Figure 4.** Etablissement du point de performance, a) Direction X-X, b) Direction Y-Y

#### 4.2. Courbes de fragilités

Dans Hazus [17,18] les bâtiments sont classés par type. Trois paramètres sont utilisés pour classer les bâtiments : système structural, code de calcul, et la hauteur du bâtiment.

Pour le cas du bâtiment étudié dans ce travail il s'agit d'un bâtiment **C1M-HC car** :

Structure en béton armé contreventé par portique, donc selon HAZUS c'est un bâtiment type C1

Structure dimensionnée selon RPS2000, qui est classifié HC (High Code) selon HAZUS

Structure a 6 étages avec une hauteur de 18m, donc selon HAZUS c'est un bâtiment type M (medium height)

Selon le tableau 5.9a du HAZUS, les paramètres pour les courbes de fragilité associées à ce type de bâtiment C1M-HC, sont :

**Tableau 1** : paramètres de calcul pour les courbes de fragilités du C1M-HC

Spectral Displacement							
Slight		Moderate		Extensive		Complete	
$S_{d,ds}$ [cm]	$\beta$ [-]	$S_{d,ds}$ [cm]	$\beta$ [-]	$S_{d,ds}$ [cm]	$\beta$ [-]	$S_{d,ds}$ [cm]	$\beta$ [-]
3.8	0.68	7.6	0.67	22.9	0.68	61	0.81

En utilisant les paramètres du tableau 1, et l'équation (1) qui détermine les probabilités des courbes de fragilités, les probabilités associées aux quatre états d'endommagement sont déterminés pour les deux points de performances dans les deux directions.

**Tableau 2** : probabilités des états d'endommagement

$S_{d,x}=2,58cm$		$S_{d,y}=2,70cm$	
$P[\geq S S_d]$	0.30	$P[\geq S S_d]$	0.31
$P[\geq M S_d]$	0.06	$P[\geq M S_d]$	0.07
$P[\geq E S_d]$	0	$P[\geq E S_d]$	0
$P[\geq C S_d]$	0	$P[\geq C S_d]$	0

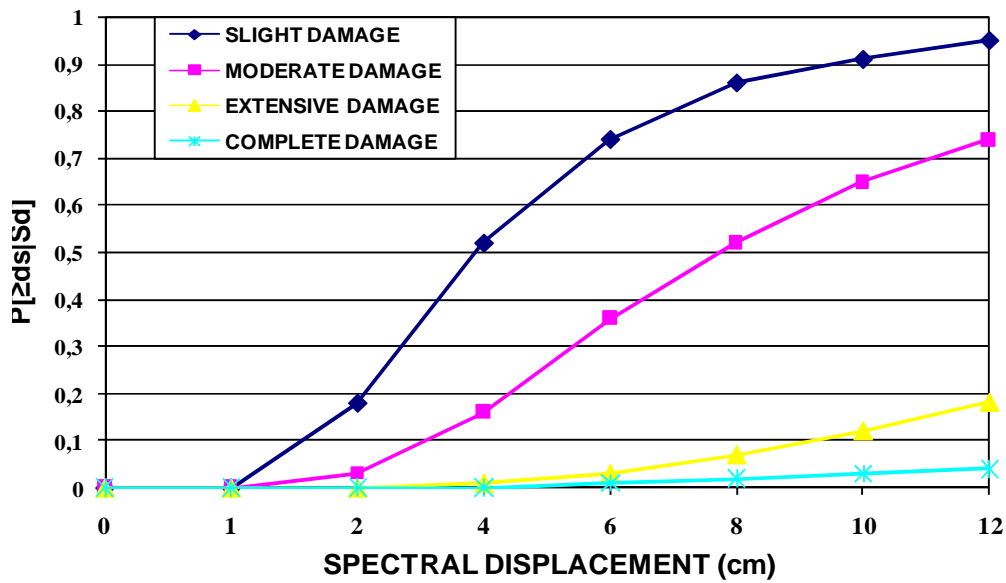


Figure 5 : courbes de fragilité associées au bâtiment C1M-HC

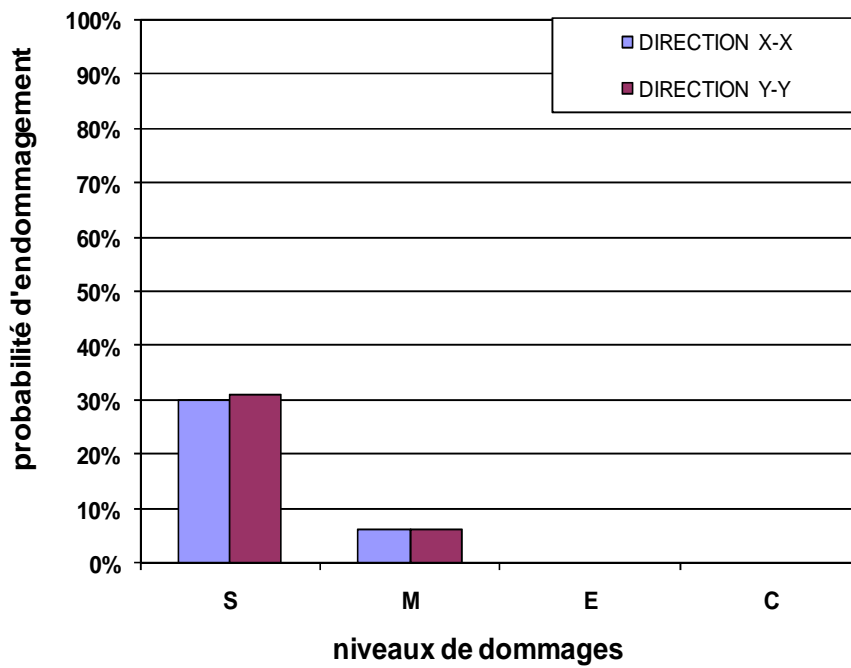


Figure 6 .probabilité d'endommagement pour le bâtiment C1M-HC

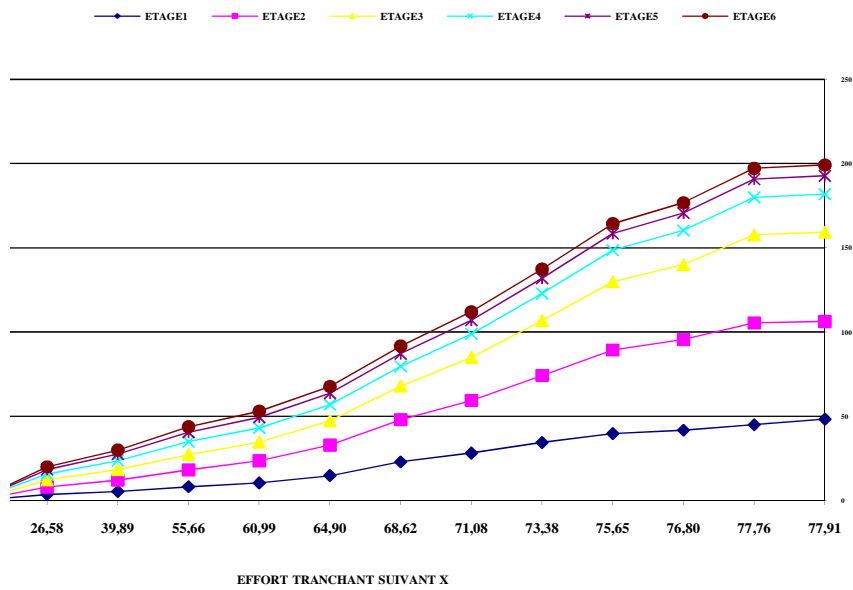


Figure 7 : déplacement d'étage en fonction de l'effort tranchant à la base .Direction X-X

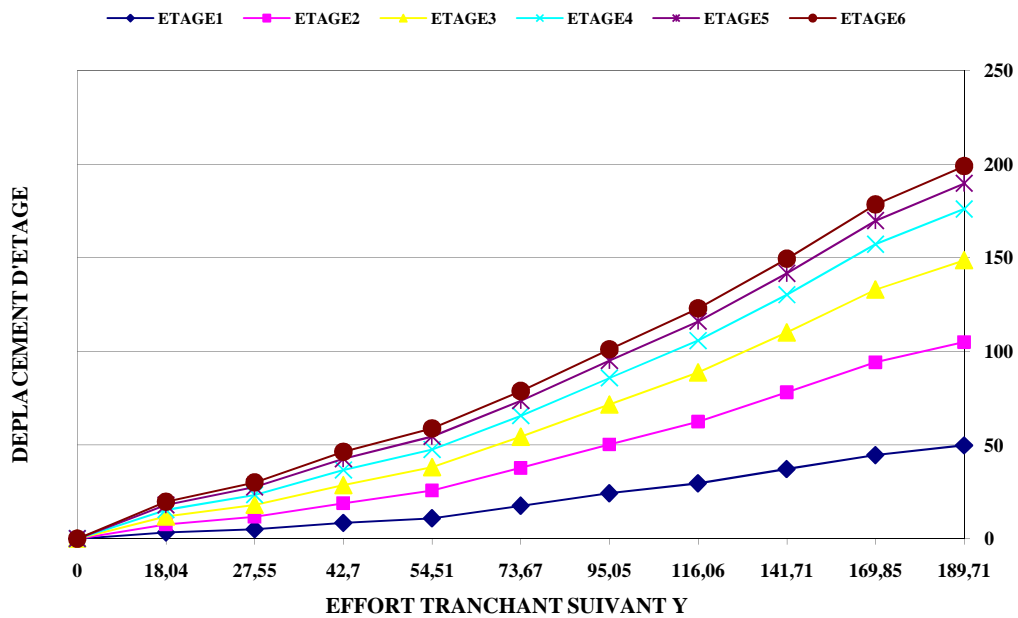


Figure 8 : déplacement d'étage en fonction de l'effort tranchant à la base .Direction Y-Y

On constate d'après les figures 4, que la courbe de demande (en bleue) intersecte la courbe de capacité dans la partie élastique, de ce fait un très faible dommage structurel apparaît, pas de déformation résiduelle, rigidité et résistance originale préservée, aucune intervention pour renforcement n'est nécessaire. D'autre part les figures 5, 7, montrent qu'il y a une probabilité de 30% que le bâtiment atteigne un état d'endommagement type SLIGHT, dans la direction X-X, et une probabilité de 31% d'atteindre ce même état d'endommagement dans la direction Y-Y, alors que la probabilité d'atteindre un état d'endommagement type modéré est tellement faible 0,06% dans les deux directions. Cette forme de résultat est interprétée habituellement sous la forme suivante : « 30% du total des bâtiments de type C1M-HC sont susceptibles de présenter des dommages légers ». Sur la base de ce type de statistiques ainsi que d'inventaires de bâti, on peut produire une quantification des dommages subis après le séisme.

## Conclusion

Le calcul statique non linéaire combiné avec les courbes de fragilités est capable d'évaluer la vulnérabilité sismique des bâtiments, d'étudier l'état de la structure sous l'action d'un séisme et de fournir ainsi des informations sur les endommagements qui peuvent être subis par une structure. A travers cet article on a pu évaluer la vulnérabilité sismique d'un bâtiment en béton armé. D'après les résultats trouvés nous pouvons conclure que la structure présente de bonnes performances dans les deux directions vis-à-vis des séismes modérés. En perspective nous souhaitons intégrer cette méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique au règlement parasismique marocain RPS2000, pour évaluer la vulnérabilité sismique des bâtiments existants, d'autant plus qu'une grande partie du parc immobilier marocain est construite avant l'apparition des règles modernes dites règles parasismiques RPS2000.

## Références

1. RPS2000, Règlement parasismique marocain .Ministère de l'habitat et l'aménagement de l'espace, Maroc (2008).
2. EN, Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance, Ed. Eyrolles (2004).
3. BAEL 91 modifiées 99, Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites ,Éd.Eyrolles (2000).
4. P. Fajfar. Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra., *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 28, pp. 979-993, 1999.
5. P. Fajfar. A nonlinear analysis method for performance based seismic design. *Earthquake Spectra*, 16 (2000) 573-592.
6. P. Fajfar, Structural analysis in earthquake engineering. A breakthrough of simplified non-linear methods, 12th European Conference on Earthquake Engineering, Paper Reference 843.
7. M. Priestley, Preliminary development of direct displacement-based design of multidegree of freedom systems, Proceedings 65th Annual Convention, SEAOC, Maui, Hawaii, 1996.
8. A. M .Reinhorn. Inelastic analysis techniques in seismic evaluations, *Seismic Design methodologies for structures*.
9. H. Krawinkler. Procedure and construction of pushover analysis of seismic performance evaluation engineering structure, vol: 20, edition: Elsevier science, Department of civil engineering standford university U.S.A 1998.
10. FEMA273, Federal Emergency Management Agency. NEHRP recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures.
11. SAP2000, Web tutorial1-quick pushover analysis tutorial (1999).computer and structures, Berkeley, California.
12. SAP2000, Web tutorial2-quick pushover analysis tutorial (1999).computer and structures, Berkeley, California.
13. ATC – Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, ATC-40 Report, Applied Technology Council, Redwood City, California, 1996.
14. CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS, and SAFE – Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA, October 2005.

15. ATC 13, (1987). Earthquake Damage Evaluation Data for Probable Maximum Loss Studies of California Buildings, Applied Technology Council, Redwood City, California
16. Building Seismic Safety Council (1997 b). NEHRP Recommended Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings. FEMA 273. Washington, Etats – Unis.
17. CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS, and SAFE – Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA, October 2005 .
18. HAZUS MH MR3 Earthquake Model Technical Manual. FEMA 2003.
19. HAZUS MH MR4 Earthquake Model Technical Manual. FEMA 2003.

(2012) <http://www.jmaterenvirosci.com/>