



Evaluation du facteur de comportement pour le calcul parasismique des bâtiments en béton armé (Assessment of the behaviour factor for seismic design of reinforced concrete buildings)

M. Mouzzoun^{*}, O. Moustachi¹, A. Taleb²

^(*) *Dép. Génie Civil- Ecole Mohammedia d'Ingénieurs, Rabat, Maroc*

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

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

Received 10 Feb 2012, Revised 2 Aug 2012, Accepted 2 Aug 2012.

* Corresponding author : E-mail : mouzzoun78@gmail.com

Résumé

Le facteur de comportement est un facteur introduit dans les règlements parasismiques pour réduire les forces élastiques obtenues d'une analyse élastique linéaire pour tenir compte de la dissipation d'énergie au court du tremblement de terre. Ce facteur de comportement tient compte globalement de la capacité dissipative hystérétique de la structure, permettant de ramener son dimensionnement à un niveau de comportement élastique avec l'introduction de forces sismiques équivalentes d'intensité réduite. En général, la valeur de calcul du facteur q est donnée dans les normalisations sismiques en fonction du seul type de structure dimensionnée cependant des recherches récentes ont montrés que ce facteur dépend d'autres paramètres. Dans cet article on se propose d'étudier l'influence de certains paramètres sur l'évaluation de la valeur du facteur de comportement.

Mots clés : ductilité, période fondamentale, RPS2000, facteur de comportement, sismique, pushover

Abstract

The behavior factor is a factor introduced in the seismic codes to reduce the seismic elastic forces obtained from a linear elastic analysis to account for energy dissipation in the short earthquake. This factor takes into account overall behavior of the dissipative capacity of the hysterical structure, to reduce its size to a standard of behavior with the introduction of elastic seismic forces equal intensity reduced. In general, the design value of the factor q is given in the seismic normalizations based on one type of structure dimensioned. But recent research has shown that this factor depends on other parameters. In this paper we propose to study the influence of global and local parameters on the evaluation of the behavior factor.

Key words: ductility, fundamental period, RPS2000, behaviour factor, seismic, pushover,

1. Introduction

Une structure peut être conçue pour résister a un séisme donné sans subir aucun dommage et ce en absorbant l'énergie sismique par un comportement élastique cependant, une telle conception ne serait pas économique, voir même réaliste, en raison du niveau très élevé de sécurité structural pour une très faible probabilité de l'occurrence d'un tel événement (10% en 50 ans d'après le règlement). Il serait plus réaliste et économique d'admettre un risque de dommage contrôlable et réparable, sans entrainer l'écroulement de la structure. Il faut donc procurer a la structure une capacité de se déformer de manière ductile au delà de sa limite élastique sans perte significative de résistance, permettant ainsi l'absorption d'une grande partie de l'énergie sismique par un comportement non élastique de certaines membrures de la structure sans grand dommage. Dans ce cas les déformations non élastiques peuvent être plusieurs fois plus importantes que les déformations élastiques, mais la force sismique de dimensionnement de la structure est moins importante que dans le cas du comportement élastique.

Afin de permettre à l'ingénieur concepteur de tenir compte des différentes non linéarités, la plupart des règlements modernes (règles françaises PS92, règles européennes EC8, RPS2000, règles américaines, etc.) ont préconisé de réduire les forces issues d'un calcul élastique linéaire par un coefficient appelé: «coefficient de comportement».

2. Facteur de comportement

Le facteur de comportement est un facteur introduit dans les règlements parasismiques pour réduire les forces élastiques obtenues d'une analyse élastique linéaire, pour tenir compte de la dissipation d'énergie au court du tremblement de terre. Ce facteur de comportement tient compte globalement de la capacité dissipative hystérétique de la structure, permettant de ramener son dimensionnement à un niveau de comportement élastique avec l'introduction de forces sismiques équivalentes d'intensité réduite (et même de type statique).

3. Méthodes d'évaluation du facteur de comportement

Plusieurs méthodes ont été proposées dans la littérature pour l'évaluation du facteur de comportement des structures.

3.1. Méthode de Newmark et Hall

La méthode de NEWMARK et HALL est la plus simple de toutes les méthodes, le facteur de comportement est donné selon les motifs des figures ci dessous en fonction de la période de vibration de l'oscillateur.

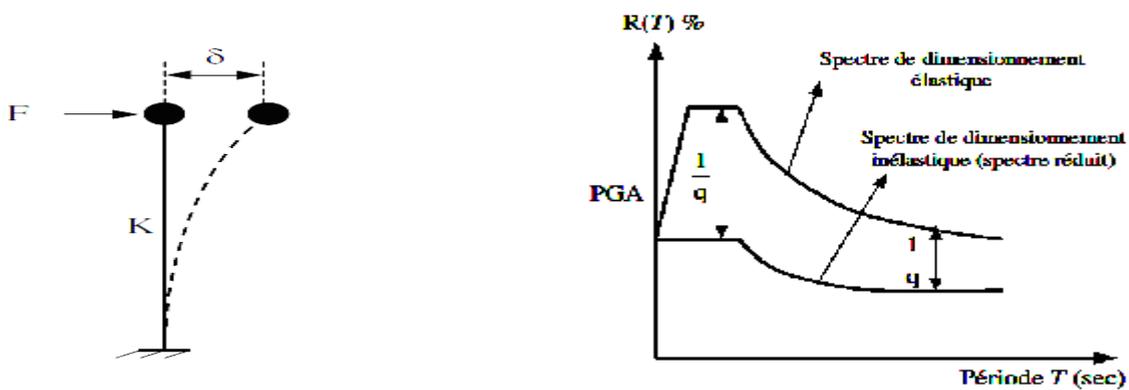


Figure 3.1.1 : Établissement du spectre de réponse inélastique à partir du spectre élastique d'un SDOF

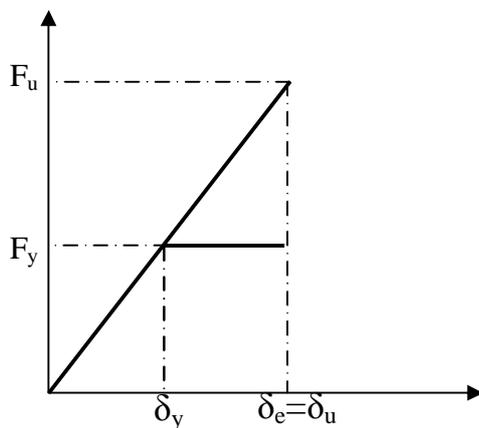


Figure 3.1.2. Principe d'égalité des déplacements

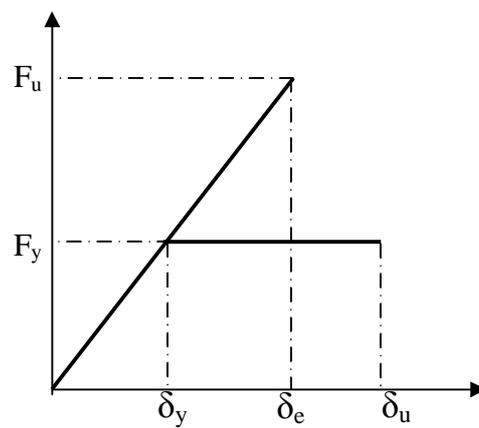


Figure 3.1.3. Principe d'égalité des énergies

Le facteur de comportement est donné par :

$$q = m_d \quad \text{Structure de longue période} \quad (3.1.1)$$

$$q = \sqrt{2m_d - 1} \quad \text{Structure de courte période} \quad (3.1.1)$$

$m_d = \frac{d_u}{d_e}$: Ductilité du matériau, qui pour le béton armé provient de la plastification de l'acier en traction et par déformation plastique du béton comprimé.

δ_e : déplacement élastique

δ_u : déplacement ultime

3.2. Méthode de Giuffrè et Giannini

GIUFFRÈ et GIANNINI ont proposé des expressions approchées du facteur de comportement q , en fonction de la ductilité globale μ de la structure et de sa période fondamentale de vibration T .

$$q = 1 + (m - 1)^{0.87 - 0.05T} \quad \text{si } T \geq T_0 \quad (3.2.1)$$

$$q = 1 + 2(q_0 - 1) \frac{T}{T_0} \left(1 - 0.5 \frac{T}{T_0} \right) \quad \text{si } T \leq T_0 \quad (3.2.2)$$

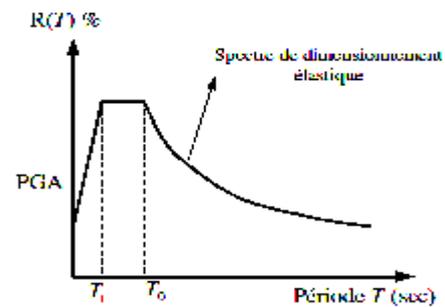


Figure 3.2.1 : Spectre de réponse classique

q_0 : la valeur de q pour $T=T_0$ obtenue en remplaçant T par T_0 dans la formule (3.2.1).

T_0 : la période de transition.

3.3. Méthode de Krawinkler et Nassar

La méthode de KRAWINKLER et NASSAR est basée également sur la réponse sismique du système à un seul degré de liberté à comportement élasto-plastique avec écrouissage. Le facteur de comportement est donné par l'expression suivante.

$$q = [1 + c(m - 1)]^{\frac{1}{c}} \quad \text{avec} \quad c(T, a) = \frac{T^a}{1 + T^a} + \frac{b}{T}$$

a, b sont des coefficients fonction du taux d'écrouissage α

$a=1, b=0.42$ pour $\alpha=0$ (comportement élastique parfaitement plastique)

3.4. Méthode de l'eurocode 8

D'une façon plus générale le facteur de comportement q est défini comme le rapport entre la valeur maximale du pic a_g de l'accélération temporelle $a(t)$ du sol (accélérogramme), soit $(a_g)_{\max}$, que peut supporter la structure sans risque de ruine (de type effondrement global plastique) et le pic de l'accélération pour lequel apparaît une

première déformation plastique dans la structure, soit $(a_g)_y$. c'est à dire : $q = \frac{(a_g)_{\max}}{(a_g)_y}$

Ce facteur de comportement q dépend de système structural, de la classe de ductilité et du matériau utilisé.

La formule proposée par l'eurocode 8 est :

$$\bar{q}(T) = \frac{1 + \frac{T}{T_1}(hb_0 - 1)}{1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{hb}{q} - 1 \right)} \quad \text{si } T \geq T_1 \quad (3.4.1)$$

$$\bar{q}(T) = q \quad \text{si } T < T_1$$

η : Coefficient de correction de l'amortissement il est égal à 1 quand le coefficient d'amortissement ξ est égale 5%.

β_0 : coefficient d'amplification spectrale

T_1 : période de transition du spectre de réponse

q : facteur de comportement

Commentaire :

Les méthodes d'évaluation du facteur de comportement sont classées en deux catégories :

Les méthodes qui se basent sur l'état limite global plastique, ces méthodes utilisent des systèmes à un ou plusieurs degrés de liberté, des méthodes énergétiques sont également utilisés, peuvent tenir compte des effets de second ordre, de l'effet de la vitesse de déformation.

Les méthodes qui se basent sur un état limite ultime de fatigue, dans ce cas une étude paramétrique complète est nécessaire, c'est-à-dire que le facteur de comportement doit tenir compte de l'accumulation des dommages.

4. Résultats

Dans cette partie, on procède à l'évaluation du facteur de comportement des structures en béton armé en étudiant l'influence de certains paramètres fondamentaux sur la valeur du facteur de comportement. 8 structures en béton armé dimensionnées selon le règlement parasismique marocain RPS2000, ont été examinées pour l'évaluation du facteur de comportement. L'analyse sismique à été conduite par des analyses pushover en utilisant le code de calcul par éléments finis SAP2000.

4.1. Hypothèses

Tableau 1 : propriétés des matériaux

Béton	$f_{c28}=25\text{Mpa}$
Acier	HA500
Module de Young	$E=32164\text{Mpa}$
Coefficient de poisson	$\nu=0,2$
Epaisseur des dalles	$E=12\text{cm}$
Section des poteaux	20x20, 25x25, 30x30
Section des poutres	20x25

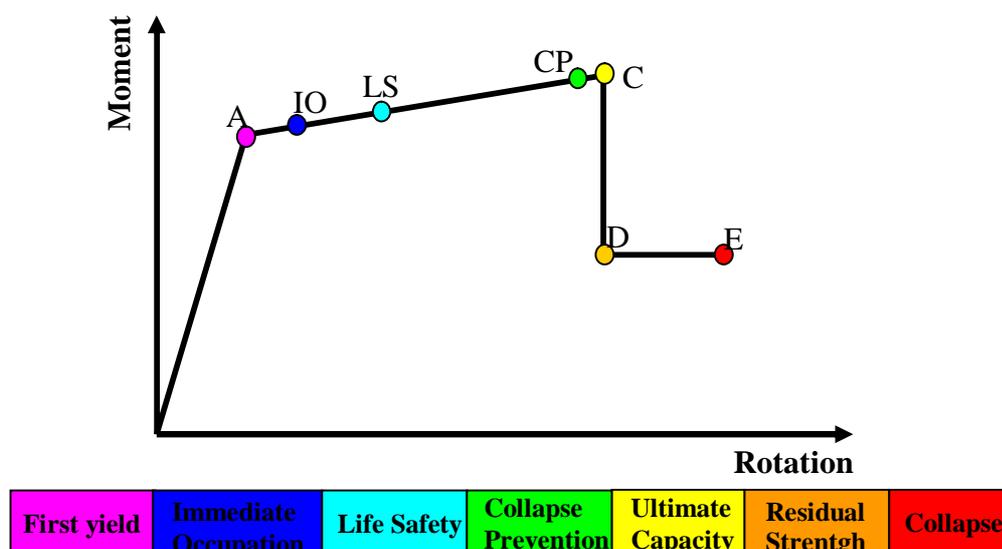


Figure 4.1 : Loi de comportement de la rotule plastique

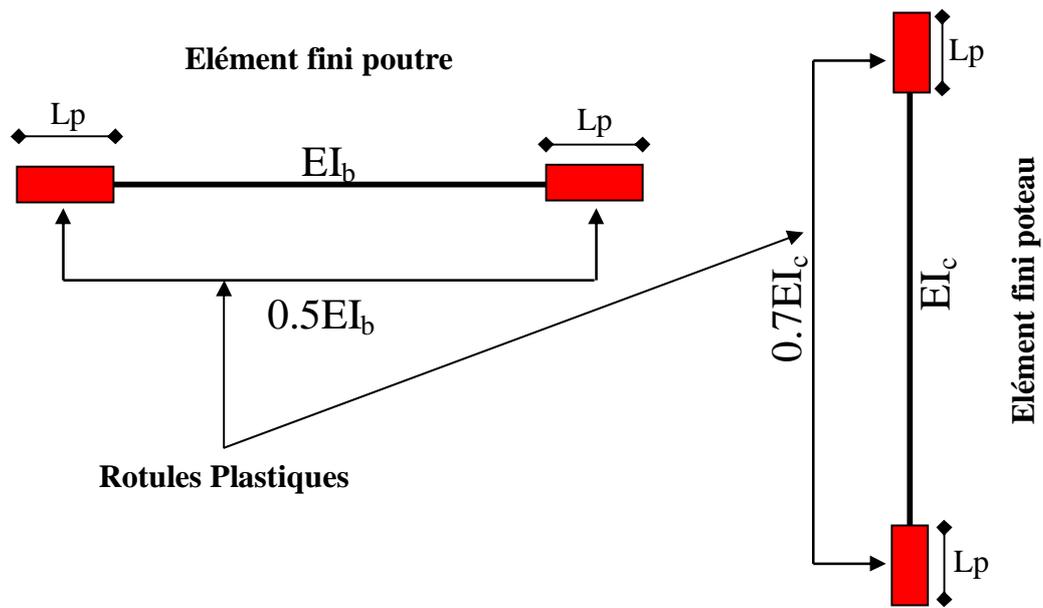


Figure 4.2 : Eléments finis poutre, poteau à deux rotules plastiques

La longueur de la rotule plastique est donnée par :
 $L_p = 0.5h$ avec h la hauteur de la section en béton armé
 Priestly et al ont proposé la formule $L_p = 0.08L + 0.022f_{ye}.d_{bl}$
 L : longueur de la travée
 f_{ye} : limite élastique des aciers
 d_{bl} : diamètre des armatures longitudinales

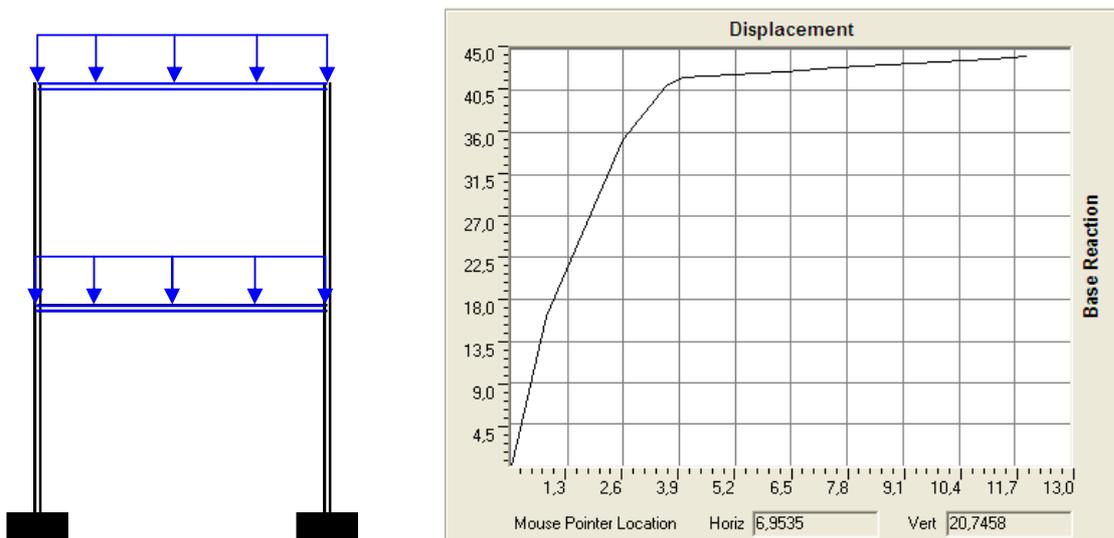


Figure 4.3 : Courbe Pushover .structure S1

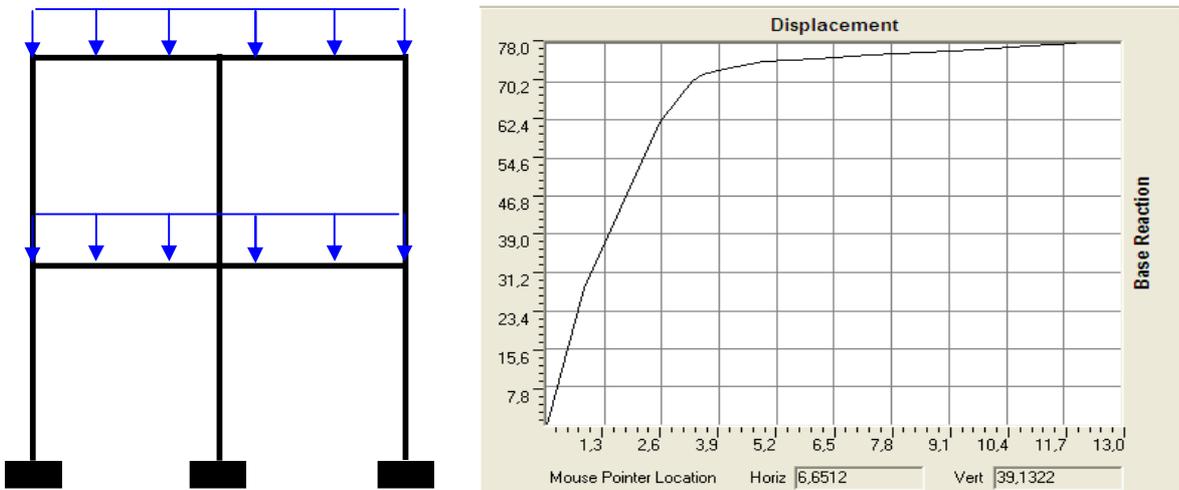


Figure 4.4 : Courbe Pushover .structure S2

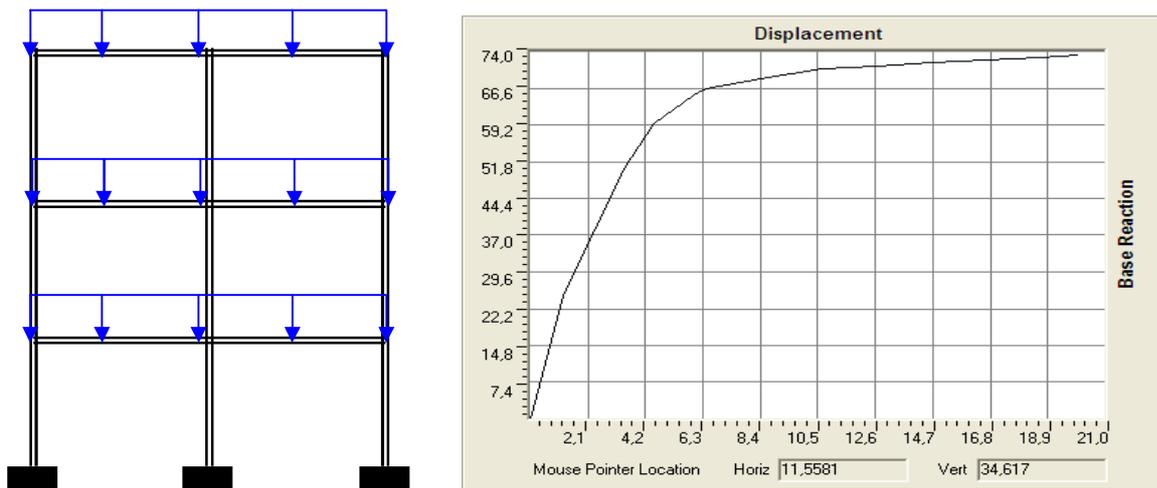


Figure 4.5 : Courbe Pushover .structure S3

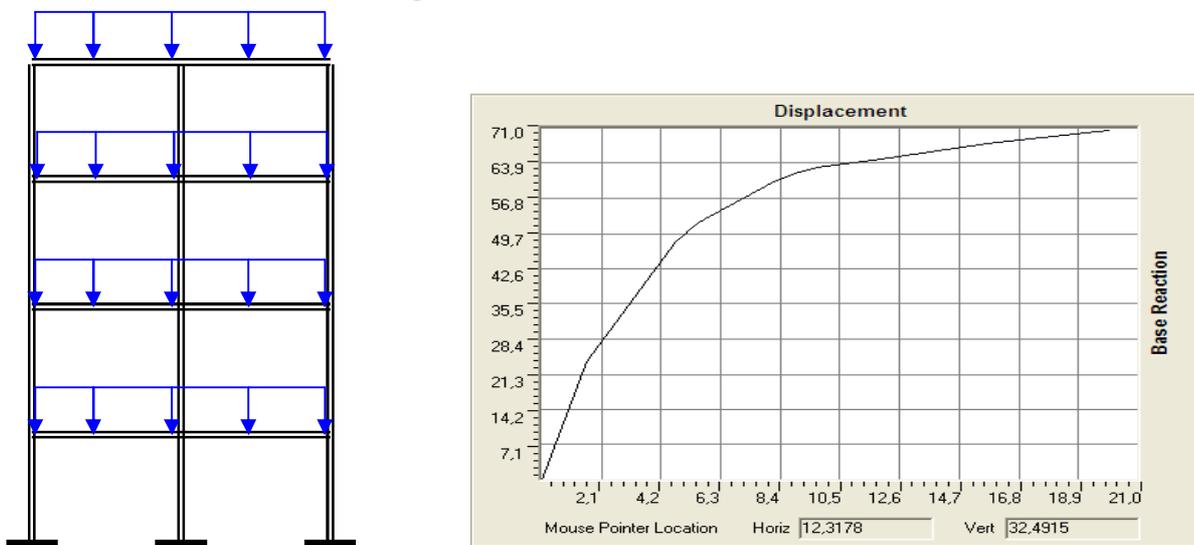


Figure 4.6 : Courbe Pushover .structure S4

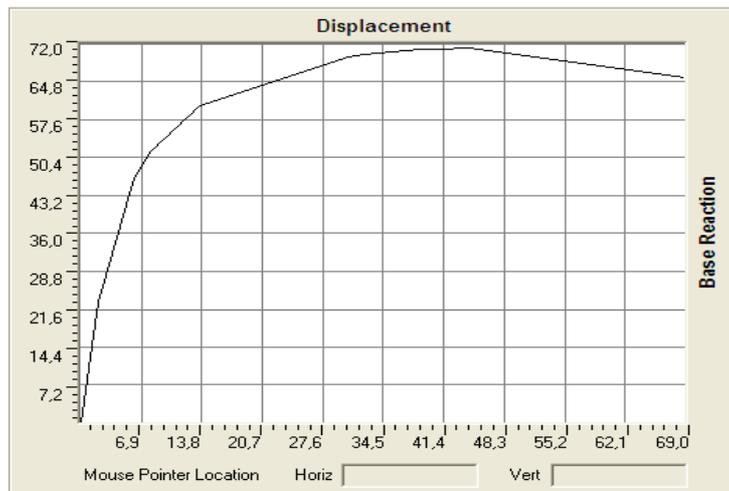
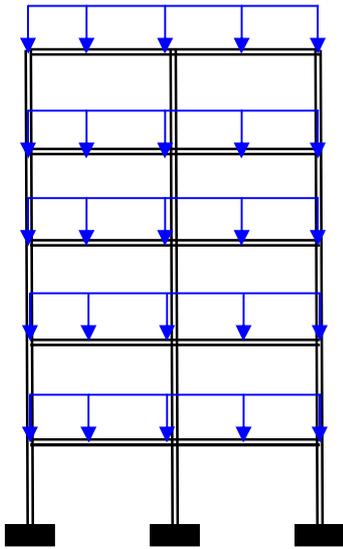


Figure 4.7 : Courbe Pushover .structure S5

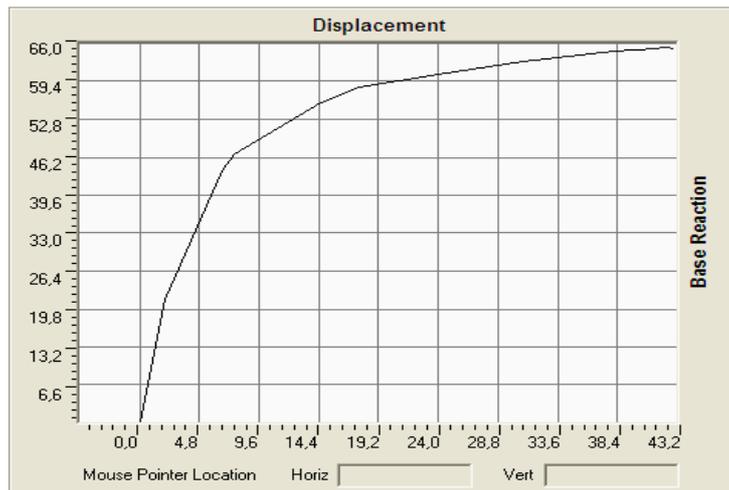
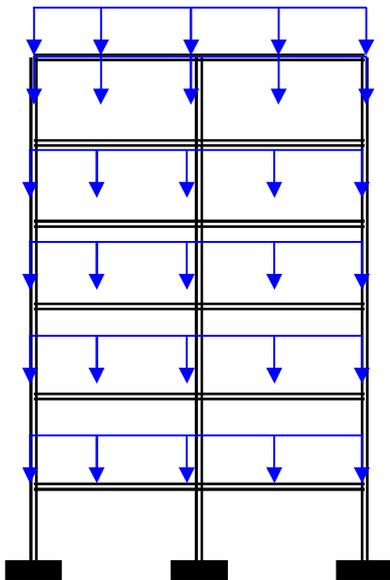


Figure 4.8 : Courbe Pushover .structure S6

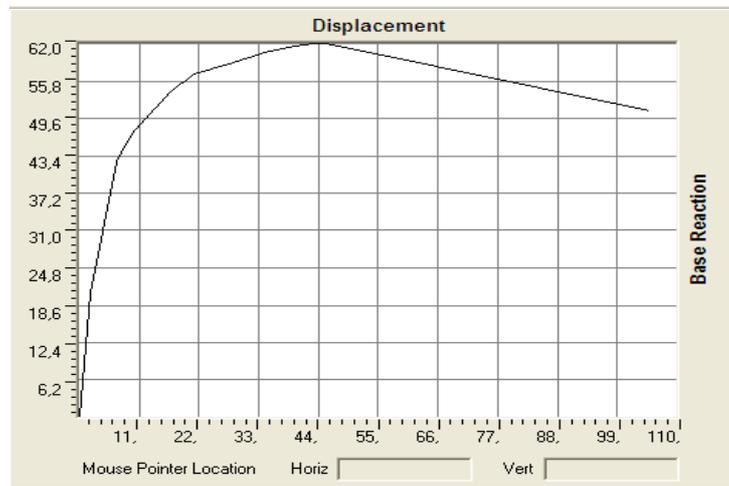
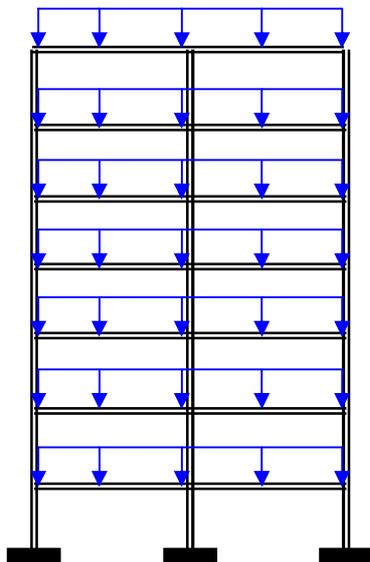


Figure 4.9 : Courbe Pushover .structure S7

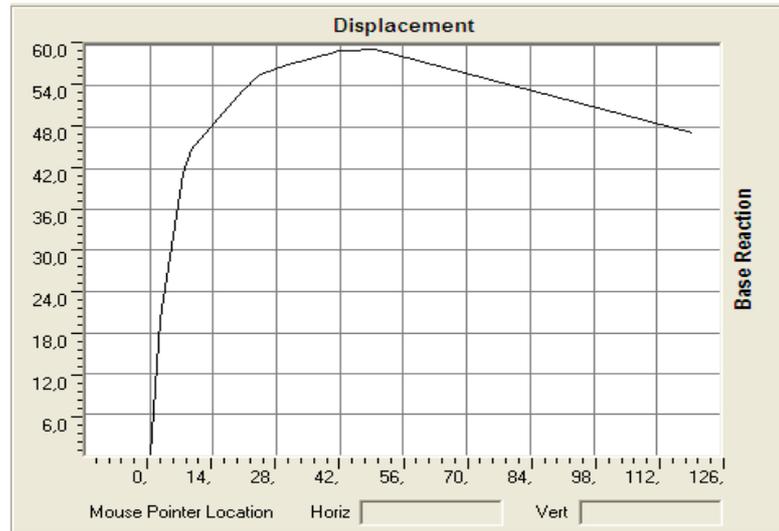
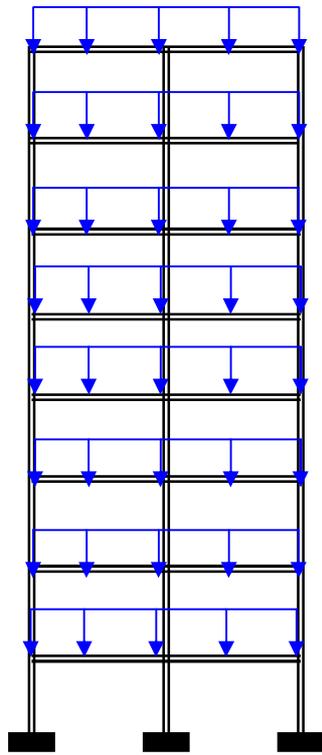
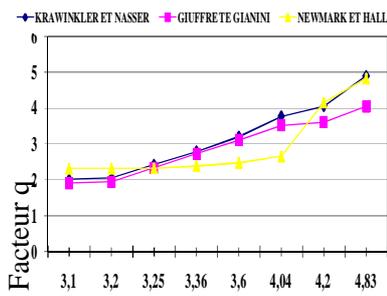


Figure 4.10 : Courbe Pushover .structure S8



Ductilité

Figure 4.11 : Influence de la ductilité

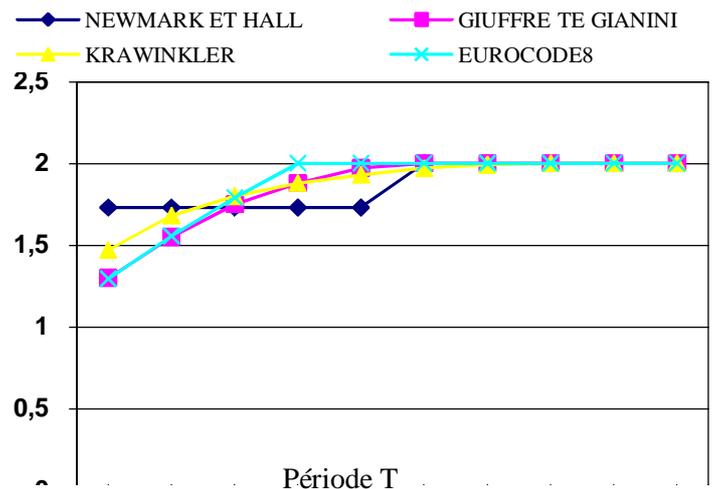
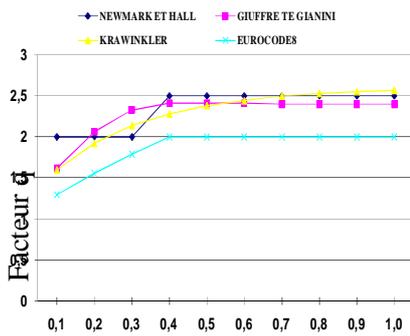


Figure 4.12 : Facteur de comportement pour site S1 et ductilité $\mu=2$



Période T
Figure 4.13 : Facteur de comportement site S1 et ductilité $\mu=2,5$

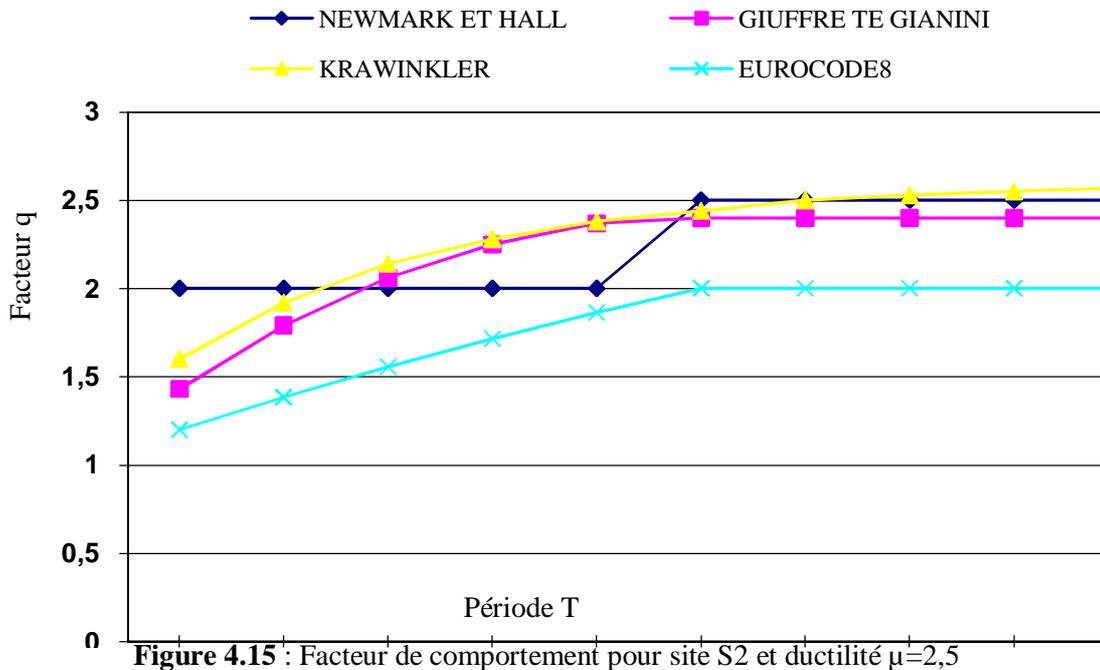
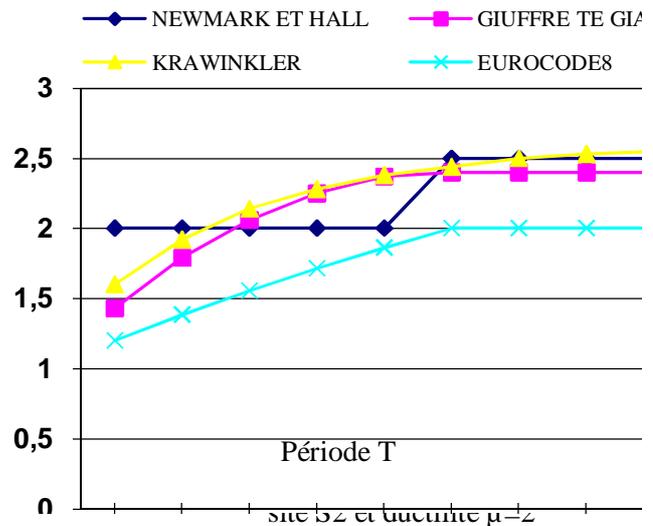


Figure 4.15 : Facteur de comportement pour site S2 et ductilité $\mu=2,5$

5. Discussion

Cette investigation a montré que quatre paramètres influent sur la valeur du facteur de comportement à savoir :

📌 Influence du type de sol

D'après les figures 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, on observe que les valeurs du facteur de comportement obtenues pour le type de sol S1 sont plus grandes que celles obtenues pour le type de sol S2. Cette observation peut être liée aux larges accélérations affectées par le règlement RPS à ce type de sol semis mou qui amplifie l'action sismique.

📌 Influence de la période fondamentale

D'après les figures 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, on remarque que le facteur de comportement varie d'une façon croissante jusqu'à une certaine valeur T_0 , puis il reste constant. Cela peut être lié à l'augmentation de la ductilité qui croît avec l'augmentation de la période fondamentale ce qui fait augmenter le facteur de comportement.

📌 Influence de la ductilité

La figure 4.11, montre que le facteur de comportement croît avec l'augmentation de la ductilité. C'est pour cette raison que les règlements parasismiques attribuent des valeurs plus grandes pour les systèmes de contreventement par portiques comparativement aux systèmes de contreventement par voiles.

✚ Influence de la séquence de rotules plastiques

La séquence de rotules plastiques a aussi une influence sur la valeur du facteur de comportement [1].

Conclusion

Les méthodes et les différentes approches utilisées pour évaluer le coefficient de comportement ont été présentées. Quatre exemples de structures ont été analysés en utilisant une analyse pushover. Les résultats trouvés ont montré l'influence de plusieurs paramètres qui influent sur la valeur du facteur de comportement, ces facteurs incluent le nombre de portiques dans la structure, le nombre d'étage, la ductilité de la structure, et le type de sol. Un autre facteur à été mis en évidence qui affecte le facteur de comportement est la période fondamentale de la structure.

La prescription d'une seule valeur du facteur de comportement pour la réduction des forces élastiques indépendamment de la période fondamentale et de la ductilité de la structure pourrait être non réaliste. D'autre part l'évaluation du facteur de comportement par l'analyse pushover ne pourra être appliquée aux structures de grande hauteur où l'effet des modes supérieurs devient plus significatif, une analyse dynamique non linéaire pourra être appliquée.

Références

1. A. Hassouni, Influence de la vitesse de déformation sur la réponse sismique des structures. Thèse de Doctorat, université de Liège (2006).
2. RPS2000, Règlement parasismique marocain .Ministère de l'habitat et l'aménagement de l'espace, Maroc (2008).
3. EN, Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance, Ed. Eyrolles (2004).
4. N.M, Newmark and W. J. Hall , Earthquake spectra and design. Ed. Earthquake Engineering Institute (1982).
5. Applied Technology Council, Structural Response Modification Factors, ATC-19 Report, Ed. Redwood City, California (1995).
6. B. Borzi and A.S. Elnashai, Refined Force Reduction Factors for Seismic Design , Ed. Engineering Structures , Elsevier, 22 (2000) 1244-1260.
7. A.J. Kappos, Evaluation of Behaviour Factors on the Basis of Ductility and Over strength Studies, Ed *Engineering Structures, Elsevier* 21 (1999) 823-835.
8. N. Lam, J. Wilson and G. Hutchison 1998, The Ductility Reduction Factor in the Seismic Design of Buildings, Ed. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Elsevier Vol 27 749-769(1998).
9. E. Miranda, V. Bertero , Evaluation of Strength Reduction Factors for Earthquake-Resistant Design, Ed. *Earthquake Spectra* 10 (2) 357-379 (1994).
10. CSI, Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS, and SAFE, Ed. Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA (2005).
11. E .Miranda, Strength Reduction Factors in Performance-Based Design, Ed. NISEE, Berkeley, California (1997).
12. A.M. Mwafy and A.S. Elnashai, Calibration of Force Reduction Factors of RC Buildings". *Journal of Earthquake Engineering*; 02 (2002) 239-273.
13. A. Nassar and H. Krawinkler, Seismic Demands for SDOF Report No. 95, Ed. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University (1991).
14. 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).

(2013) www.jmaterenvironsci.com