

The New Formulation of the Behavior Factor's "Theoretical -regulatory Aspect"

ElArabi Boutaoutaou¹, Abdelaziz Benmarce² and Azdine Boulfoul¹

¹Université de Mentouri, Laboratoire de mécanique des sols et des structures, Département de Génie Civil, Constantine, Algérie

²Université de 8 Mai 1945, Laboratoire de génie civil et d'hydraulique, Département de Génie Civil, Guelma, Algérie

Abstract. The three last decades have seen a massive research program dealing with the global behavior of structures under seismic actions. This leads to formulate the behavior factor as the product of three factors: ductility, overstrength and redundancy. The synthesis of ductility factor's model as well as the experimental results have revealed lacks in the RPA code, which requires only one class of ductility rather than several ones in one hand, and it doesn't take into consideration flexibility and ignores the overstrength factor, on the other hand. So this study aims to show the new outlook of calibrating the behavior factor enabling thus its introduction into a future rehabilitation of RPA.

1 Introduction

Il est possible de faire travailler les structures soumises aux sollicitations sismiques à des déformations qui sont au-delà de leur domaine élastique, ce qui suppose une dissipation d'énergie dans les éléments structuraux. En contrepartie, les efforts sismiques présents sont plus faibles que ceux qui seraient calculés en utilisant la résistance des matériaux et en supposant un comportement élastique parfaitement linéaire. D'ailleurs, ces charges sismiques sont modifiées en introduisant le facteur modificateur de la force sismique (facteur de comportement) pour tenir compte du comportement inélastique. Celui-ci, est défini par le rapport de l'effort tranchant à la base élastique, V_e , sur l'effort tranchant de calcul, V_d :

$$R = \frac{V_e}{V_d} \quad (1)$$

Dans la littérature, le facteur de comportement dépend de plusieurs paramètres tels que, la ductilité, la période fondamentale, la surcapacité, la redondance du bâtiment, ainsi que, la période caractéristique du sol. Par ailleurs, ce facteur (R), est formulé comme étant le produit de trois facteurs [1], un facteur de ductilité R_μ , un facteur de résistance résiduelle R_s , et celui de redondance R_R . L'évolution récente de certains codes parasismiques tels que, l'EC8 (EN1998-2004) [2] et le CNBC (CNBC 2005) [3] a pris en compte de ces paramètres.

Bien que, l'actualisation de notre code parasismique RPA [4] après le séisme de Boumerdes (2003), a été consacrée essentiellement à la révision du zonage sismique, ainsi que les valeurs du coefficient d'accélération (A) qu'il y rattaché; sans aucune justification scientifique ou technique. Cependant, le coefficient de comportement (R) n'a bénéficié d'aucunes recommandations appropriées.

2 Nouvelle formulation du facteur de comportement

Afin de développer une meilleure compréhension de la réponse sismique des ossatures et donner une formulation du facteur de comportement; un programme de recherche expérimentale a été mené dans la moitié des années quatre-vingts par l'université de Californie à Berkeley [5]. Celui-ci, a permis de formuler le facteur de comportement (R), comme étant le produit de trois facteurs, tenant compte de la résistance résiduelle R_s , la ductilité R_μ , et l'amortissement visqueux R_ξ :

$$R = R_s \cdot R_\mu \cdot R_\xi \quad (2)$$

Par la suite, beaucoup de recherches (Freeman 1990 [6]; ATC 1995a [1] et ATC 1995b [7]) ont été menées depuis la première proposition de R (diviser en facteurs) dans la moitié des années 1980. En effet, des études récentes (ATC 1995a [1]) soutiennent une nouvelle

formulation similaire, là où R est exprimée comme étant le produit de trois facteurs : facteur de résistance résiduelle R_s , facteur de ductilité R_μ , et facteur de redondance R_R [8] :

$$R = R_s \cdot R_\mu \cdot R_R \quad (3)$$

2.1 Etude du facteur de ductilité

Le facteur de ductilité peut être défini comme étant le rapport de la demande en force élastique ($\mu = 1$), à la demande de celle inélastique, pour atteindre un rapport prévu de ductilité ($\mu = \mu_i$) d'une structure. Le coefficient de ductilité (μ) est défini par le rapport de la valeur absolue du déplacement maximale ($|\Delta|_{\max}$), à la valeur du déplacement à la limite élastique (Δ_y) [9]. Le facteur de ductilité est ainsi donné par :

$$R_\mu = \frac{F_e(\mu=1)}{F_y(\mu=\mu_i)} \quad (4)$$

Avec, $F_e(\mu=1)$ représente la demande en force élastique, et $F_y(\mu=\mu_i)$ la demande en force inélastique, pour atteindre le niveau de ductilité souhaiter d'un système donné.

En effet, Newmark et Hall [10,11], sont les premiers qui ont développé la relation, $R-\mu-T$ (éq. (5), (6) et (7)) dans les années 70, à la base des observations conduites sur la réponse sismique d'un certain nombre de système d'un seul degré de liberté (SDOF) intact.

$$R_\mu = 1 \quad \text{Si} \quad T < 0.03s \text{ (égalité des accélérations) } (5)$$

$$R_\mu = \sqrt{2\mu-1} \quad \text{Si} \quad 0.1s < T < 0.5s \text{ (égalité des énergies) } (6)$$

$$R_\mu = \mu \quad \text{Si} \quad T > 0.5s \text{ (égalité des déplacements) } (7)$$

Par la suite, Krawinkler et Nassar, ont employé les résultats d'une étude statistique basée sur les 15 occidentaux mouvements du sol des Etats-Unis [5]. Ils proposèrent des relations pour, R_μ , fonction de la période, la ductilité et de la deuxième pente du système bilinéaire en considérant un amortissement de 5%.

$$R_\mu = [c(\mu-1)+1]^{1/c} \quad (8)$$

$$\text{Avec : } c(T, \alpha) = \frac{T^a}{1+T^a} + \frac{b}{T} \quad (9)$$

Où α , est la rigidité après écoulement; a et b sont les paramètres de régression. Les valeurs des paramètres de régression (a) et (b) sont données en fonction de α [11] par le tableau .1.

Tableau.1 valeurs des paramètres de régression a et b

α	A	B
0	1.00	0.42
2%	1.00	0.37
10%	0.80	0.29

Le modèle de Miranda et Bertero [10] est obtenu à partir de 124 enregistrements de mouvement de sol couvrant des sites rocheux, alluvionnaires et très meubles. Un coefficient d'amortissement de 5% est adopté. Ils ont suggéré, des expressions fonction du type de sol. Le facteur ductilité est donné par la relation (10).

$$R_\mu = \frac{\mu-1}{\phi} + 1 \quad (10)$$

$$\phi = 1 + \frac{1}{10T - \mu T} - \frac{1}{2T} \exp[-1.5(\ln(T) - 0.6)^2] \quad (11)$$

$$\phi = 1 + \frac{1}{12T - \mu T} - \frac{2}{5T} \exp[-2(\ln(T) - 0.2)^2] \quad (12)$$

$$\phi = 1 + \frac{T_1}{3T} - \frac{3T_1}{4T} \exp[-3(\ln(T/T_1) - 0.25)^2] \quad (13)$$

Où ϕ : coefficient caractérisant la nature du sol. Les équations (11), (12), (13) sont respectivement relatives à un site rocheux, alluvionnaire, et meuble. T_1 est la période caractéristique du sol.

Le facteur de ductilité introduit par Vidic et al a été assimilé à une courbe bilinéaire. D'ailleurs, dans la plage des périodes courts, R_μ , augmente linéairement avec la période (de 1 à une valeur presque égale à la ductilité), ainsi, restera constant dans la partie restante de la période [10]. La formulation est donnée par :

$$R_\mu = c_1(\mu-1)^{c_R} \frac{T}{T_0} + 1 \quad \text{si} \quad T < T_0 \quad (14)$$

$$R_\mu = c_1(\mu-1)^{c_R} + 1 \quad \text{si} \quad T > T_0$$

T_0 : est la période divisant la plage des périodes en deux, elle est reliée à la période caractéristique T_1 par la relation (15).

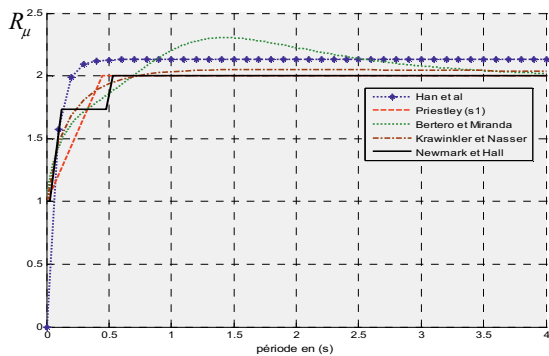
$$T_0 = c_2 \cdot \mu^{c_T} \cdot T_1 \quad (15)$$

Les coefficients c_1, c_2, c_R, c_T , dépendent du comporte-ment hystérétique et du modèle d'amortissement.

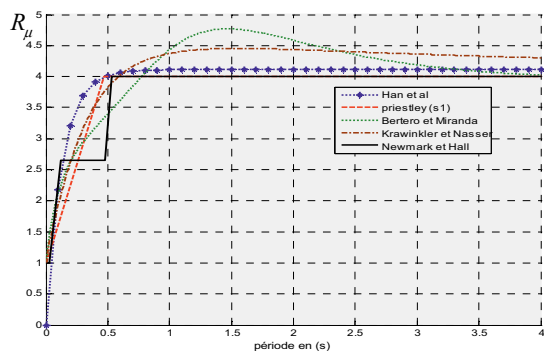
Priestley [12], a proposé une formulation du facteur de ductilité qui prend en compte la période caractéristique spécifique au site.

$$R_\mu = 1 + (\mu-1) = \frac{T}{1.5T_g} \leq \mu \quad (16)$$

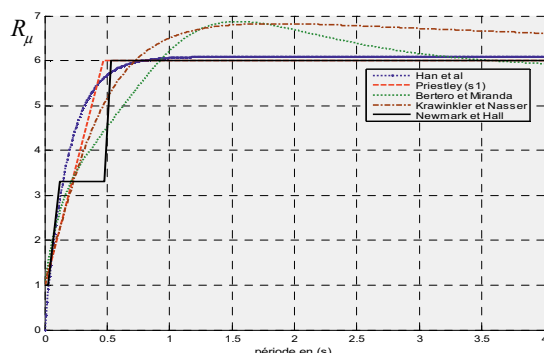
Où, $R_\mu = \mu$ quand $T > 1.5T_g$ et $R_\mu = 1$ quand $T \rightarrow 0$. Entre ces deux valeurs, R_μ , est obtenu par interpolation linéaire. T_g , est la période caractéristique [13] du sol.



(a) Facteur de ductilité R_μ (site rocheux, $\mu = 2$)



(b) Facteur de ductilité R_μ (site rocheux, $\mu = 4$)



(c) Facteur de ductilité R_μ (site rocheux, $\mu = 6$)

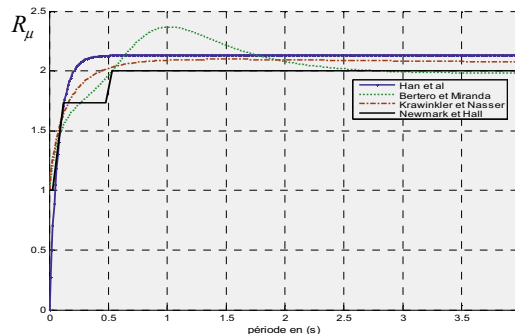
Fig. 1. $R-\mu-T$ proposés par les différents chercheurs pour plusieurs niveaux de ductilité dans un site rocheux.

Han et al ont proposé un modèle qui tient compte de la demande en ductilité, la période structurelle et les caractéristiques des différents modèles hystérétiques [9]. Une expression simplifiée est donnée par :

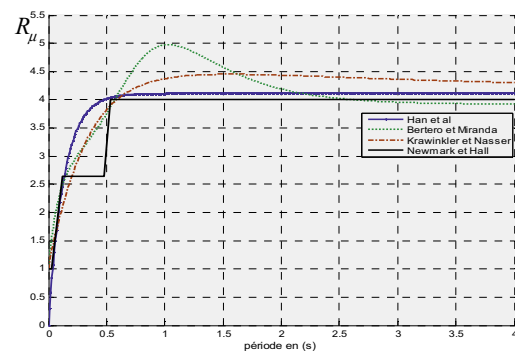
$$R_\mu = R(T, \mu) = A_0 [1 - \exp(-B_0 T)] \quad (17)$$

$$A_0 = 0.99\mu + 0.15 ; B_0 = 23.69\mu^{-0.83}$$

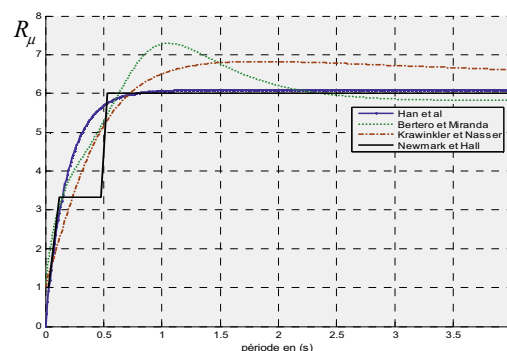
De même, les dispositions FEMA 356 [14] a établi une expression similaire. Ce modèle est simple, il suppose un R_μ constant et égale à la ductilité souhaité pour la longue gamme de période (commençant à la valeur du période caractéristique, T_s). Dans la courte gamme de période ($0 < T < T_s$), R_μ , est obtenu par une interpolation linéaire. Quand $T \rightarrow 0$, une valeur de R_μ , égale à 1 est adopté.



(a) Facteur de ductilité R_μ (site alluvionnaire, $\mu = 2$)



(b) Facteur de ductilité R_μ (site alluvionnaire, $\mu = 4$)



(c) Facteur de ductilité R_μ (site alluvionnaire, $\mu = 6$)

Fig. 2. $R-\mu-T$ proposés par les différents chercheurs pour plusieurs niveaux de ductilité dans un site alluvionnaire.

Ainsi, les représentations graphiques (figure.1et 2) de ces différents modèles, pour trois niveaux de ductilités et deux types de sol (rocheux et alluvionnaire), montrent bien la dépendance du facteur, R_μ , avec le niveau de ductilité souhaité d'une part, du fait qu'il augmente avec l'augmentation de la ductilité et diminué avec. D'autre part, avec la période fondamentale de la structure, là où il apparaît clair que pour un niveau constant de ductilité, R_μ , est fortement influencé par la période fondamentale si le bâtiment appartenant à la plage des courtes périodes (égal à 1 pour structures infiniment rigide et augmente proportionnelle ment avec l'augmentation de T). Alors qu'il est peu influencé dans la plage des longues périodes (égal ou presque égal à cette demande en ductilité). Il est important de signaler par ailleurs, que ces modèles ont une tendance similaire à l'exception de quelques différences considérées comme petites pouvant être ignorées.

2.2 Etude du facteur de résistance résiduelle

La résistance résiduelle d'une structure est la capacité de celle-ci à développer une résistance au-delà de l'initiation de la plastification. En effet, lors de l'apparition de la première rotule plastique, la capacité de la structure n'est pas encore dépassée mais elle continue à développer une capacité de résistance et de déformation. Cela, amène à définir R_s comme étant, le rapport de la force latérale ultime, $V_u = V_e/R_u$ (18), sur celle correspondante à la formation de la première rotule plastique, $V_{fy} = V_e/R_{\mu}R_s$ (19). D'ailleurs, cette réserve de résistance dépend de plusieurs facteurs, parmi lesquelles [15]: la redondance de la structure, limitation du déplacement latérale exigée par les codes de calculs, présence des éléments non structuraux, l'ignorance de l'effet tridimensionnelle et la ductilité de la structure qui est le facteur le plus important.

Plusieurs recherches ont été faites dans ce contexte. Des études effectuées par Freeman (ATC 1982b) ont reporté des R_s , d'environ 2.8 et 4.8 pour des ossatures en portiques de 4 et 7 niveaux respectivement. De même, sous l'action sismique de Loma Prieta (1989), un portique de rive composé de 6 niveaux a été analysé par Uang et Maarouf (1993), ils ont signalé un $R_s = 1.9$. On outre, un portique moyennement ductile de 4 étages situées en zone de moyenne sismicité (zone 2), a été étudié par Huang shikozuko (1994) conformément au code Américain (UBC). Ces auteurs, ont reporté un $R_s = 2.2$ [5,8].

De même, pour faire estimer le facteur de résistance résiduelle, une série de cinq portiques mixtes en béton armé de un à cinq étages ont été étudiés selon l'EC8 (EN1998-1994) [16] par Kappos [17]. Assumer d'un facteur de comportement de 3.5 qui correspond à la classe de ductilité DCM (ductilité moyenne).

L'auteur [17] a conclu que la résistance résiduelle des structures dépend de leurs flexibilités. Elle est donc plus grande pour bâtiments faiblement élevés ($T = 0.1 \Rightarrow q_s = 2.7$), que pour ceux moyennement élevés ($T \geq 0.3 \Rightarrow q_s = 1.5$). En outre, le résultat de l'analyse d'une structure de dix étages avec décrochement (structure irrégulière en élévation); calculée [17] selon l'EC8 (EN1998-1994) pour la même classe de ductilité (DCM), a donné un facteur de résistance résiduelle égale à 1.53. Ce résultat est très proche (résistance résiduelle égale à 1.5) du cas de la structure de dix étages en béton armé [17], ayant la même géométrie de la précédente mais sans décrochement.

Dans le but de comparer les résultats établis par Kappos avec l'EC8. Une valeur du facteur de comportement a été considérée, prise comme étant le produit du facteurs de résistance résiduelle obtenu par Kappos, et le facteur de ductilité du modèle de Miranda-Bertéro pour un site alluvionnaire (avec $\mu = 2.33$). Les résultats ainsi obtenus sont portés sur la figure.3.

Où $R_{EC8(1994)}$ désigne le facteur de comportement établi par l'EC8 (EN1998-1994) [16], et $R_{EC8(2004)}$, celui établi par l'EC8 (EN1998-2004) [2]. Notons que ce dernier, a introduit dans sa formulation le facteur de résistance résiduelle.

En effet, ces résultats nous a montré que : pour une structure de même géométrie que celle étudié par l'auteur, considérée dans la même classe de ductilité (DCM) :

- La valeur du facteur de comportement établie par l'EC8 (EN1998-2004) est supérieure à celle établie par l'EC8 (EN1998-1994). Cette augmentation est d'environ 10% pour la gamme des périodes longues et intermédiaires ($T > 0.25$), elle diminue progressivement avec la diminution de la période fondamentale.

Pour $T \geq 0.25$

$$R_{s(EC2004)} = \frac{R_{EC8(2004)}}{R_{EC8(1994)}} = \frac{3.9}{3.5} \approx 1.11 = \text{constante} < R_{s(Kappos)} = 1.5$$

Pour $T < 0.25$

$$R_s = \text{variable (diminu avec la diminution de la période)} < 1.11$$

- La ductilité au sein de l'EC8 est surestimé ($\mu_{EC8(1994)} = 3.5 > \mu_{(M-B)} = 2.33$).

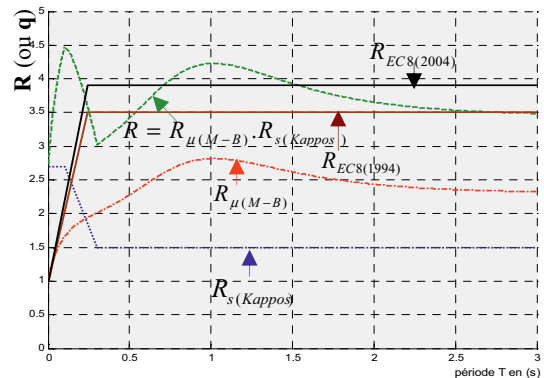


Fig. 3. Composants du facteur de comportement (selon EC8)

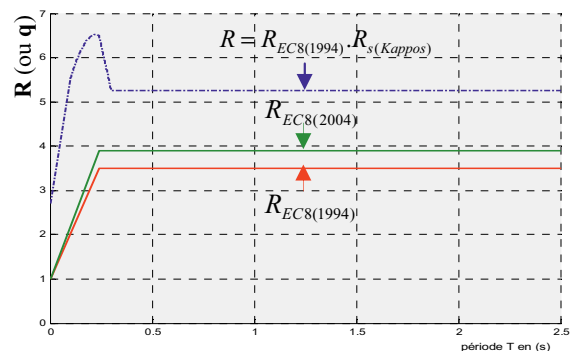


Fig. 4. Comparaison entre la valeur du R de l'EC8 (2004) et celle estimée à l'aide des résultats de Kappos

Par ailleurs, si on adopte la valeur de R_s proposée par Kappos au facteur de comportement de l'EC8 (EN1998-1994), on trouve la courbe ($R = R_{EC(1994)} \cdot R_{s(Kappos)}$), représenté par la figure.4. Sur la base des tendances identifiées par celle-ci (figure .4), il apparaît très claire que la résistance résiduelle estimé par Kappos, donne un facteur de comportement plus grand de celui établi par l'EC8 (EN1998-2004), surtout pour les structures faiblement élevées.

De même, Mahmoudi [15] a préféré l'estimation de la surcapacité des structures à travers la ductilité locale (des poteaux et des poutres). Pour atteindre ce but, il a considéré neuf portiques autostables en béton armé. Ces portiques en trois travées comportent un, deux, trois, quatre, cinq, six, huit, dix et quinze étages. Tous les portiques on été soumis à l'analyse par poussée progressive (pushover analysis).

L'auteur [15] a conclu, que l'analyse par poussée progressive des portiques en béton armé, fournit une bonne évaluation du rapport entre le facteur de la résistance résiduelle et le coefficient de ductilité des éléments linéaires. Les résultats ont indiqué que la résistance résiduelle dépend beaucoup plus de la ductilité des éléments linéaires. Les structures de faible, moyenne et de haute ductilité n'ont pas la même résistance résiduelle. Les hautes structures ont la faible surcapacité. De plus, la dépendance de la surcapacité avec la ductilité des poteaux est plus qu'avec celle des poutres.

2.3 Etude du facteur de redondance

La redondance structurelle dans la conception parasismique est fortement recommandée. Elle exige plusieurs fibres de portiques dans chaque direction principale du bâtiment. Quatre fibres de portiques est recommandées comme minimum requis dans chaque direction principale de la structure, afin de fournir une redondance adéquate [5,8]. Par ailleurs, les structures moins redondantes peuvent être pénalisées à travers des coefficients, résultants ainsi à des efforts tranchants à la base plus grands (tableau.2).

Mais il reste toujours difficile de faire séparer la redondance et la résistance résiduelle des structures, ce qui oblige quelques chercheurs d'introduire le facteur de redondance à travers celui de la réserve de résistance.

Tableau.2 facteur de redondance [5]

Nombre de lignes	Facteur de redondance
2	0.71
3	0.86
4	1.0

3 Comparaison entre codes parasismiques

Afin de clarifier l'importance accordée au facteur de comportement préconisé par les codes parasismiques en

vigueur. Une analyse comparative entre le facteur que préconisent le code Algérien [4], l'Eurocode 8 'version 1994 [16] et 2004' [2], code Canadien 'version 1995 [18] et 2005' [3]; avec celui de la nouvelle formulation (discutés explicitement en haut), qui tien compte de la ductilité, la résistance résiduelle, et la redondance (tableau. 3); a permet de faire les constatations suivantes :

- Contrairement à l'EC8 et le CNBC qui permettent un dimensionnement selon 3 classes de ductilité; le RPA préconise une seul classe de ductilité, satisfaisant ainsi à une petite variété de structures.
- Bien que le changement principale au niveau du calcul de la force sismique latérale, relatif aux codes CNBC et EC8, est l'introduction du facteur de résistance résiduelle (à travers un coefficient multiplicateur α_u/α_1 pour l'EC8 et un coefficient R_d pour le CNBC); le RPA a ignoré ce facteur.
- L'EC8, le CNBC et le RPA ont introduit la redondance d'une manière implicite (à travers les conditions de régularité du bâtiment pour l'EC8, à travers le coefficient de résistance résiduelle pour le CNBC, et à travers le facteur de qualité concernant le RPA).

Tableau 3. Comparaison du facteur de comportement établi par les codes de calcul parasismiques avec celui de la nouvelle formulation.

Code	Classe de ductilité	R_μ	R_s	R_R
RPA99/ version 2003	Une seule classe	Observé	Non observé	Observé
EC8 (EN1998-1994)	Trois classes	Observé	Non observé	Observé
EC8 (EN1998-2004)	Trois classes	Observé	Observé	Observé
CNBC 1995	Trois classes	Observé	Non observé	Non observé
CNBC 2005	Trois classes	Observé	Observé	Observé

4 Conclusion

Cet article, mettre en relief le comportement global des ossatures autostables en béton armé, qui se traduit par le facteur de comportement. Celui-ci, à été récemment formulé comme étant le produit de trois facteurs tenant compte de la ductilité, la résistance résiduelle, et la redondance. D'ailleurs, cette étude a permet de faire les conclusions suivantes :

- Les modèles $R-\mu-T$, proposés par les différents chercheurs ont corrélé le facteur de ductilité avec la demande en ductilité souhaité et la période fondamentale de la structure (certains modèles inclus l'effet de la période caractéristique du sol). Tandis que, le RPA ne tient pas compte de cette corrélation
- Le facteur de comportement peut être haussé sécuritairement introduisant le facteur de résistance résiduelle. Cette augmentation permettrait une diminution des charges de dimensionnement, ce qui conduirait à certaines économies. Ainsi, augmenterait les avantages liés à l'utilisation des ouvrages en béton armé.
- La résistance résiduelle change considérablement en fonction du type de bâtiment et de leur taille (plus grande pour bâtiments faiblement élevés que pour ceux élevés et moyennement élevés). Ainsi, l'écart enregistré entre les différentes valeurs de R_s , est significatif, pour cela plus d'études sont nécessaires afin de limiter les risques d'utilisation de ce facteur dans le domaine professionnelle.
- Malgré que, le facteur de redondance est généralement introduit à travers le facteur de résistance résiduelle. Certaines études, recommandent quatre lignes de portiques, dans chaque direction principale de la structure, afin de lui fournir une redondance adéquate.
- Certains codes parasismiques tels que, le CNBC et l'EC8, permettent aux ingénieurs de choisir entre un comportement ductile, peu ductile et non-ductile de la structure. Cependant, les prescriptions du code RPA ne permet pas aux concepteurs d'imposer (donc d'atteindre) une certaine demande en ductilité.
- Bien que le but principale du changement apporté à la formulation du facteur de comportement pour l'édition 2004 de l'EC8 et 2005 du CNBC, est l'introduction du facteur de surrésistance (inclus l'effet de redondance pour le CNBC); le code Algérien (RPA) faisant abstraction de ce facteur de surrésistance.

References

- [1] Applied Technology Council (ATC). (1995a). *Structural response modification factors*. Rep. No. ATC-19, Redwood City, Calif.
- [2] Eurocode 8: *Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 1: Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments*. Réf. n° EN 1998-1:2004 F, CEN, Bruxelles, (2004).
- [3] CNBC, *Code National du Bâtiment – Canada 2005*. Conseil National de Recherches du Canada – Institut de recherche en construction, Ottawa, Ontario, Canada (2005).
- [4] *Règles Parasismiques Algériennes (RPA 99/VERSION 2003)*, Document Technique Règlementaire, D.T.R. -B.C. 2.48.
- [5] Andrew Whittaker, Gary Hart, and Christopher Rojahn. *Seismic Response Modification Factors*. Journal of Structural Engineering, pp 438-443 (April 1999).
- [6] Freeman, S. A. *On the correlation of code forces to earthquake demands*. Proc., 4th US.-Japan workshop on Improvement of Build. struct. Des. and constr Practices, Applied technology Council, Redwood City, Calif (1990).
- [7] Applied Technology Council (ATC). (1995b). *A critical review of current approaches to earthquake-resistant design*. Rep. No. ATC-34, Redwood City, Calif.
- [8] Djebbar Nabil. "Contribution à l'Etude de la Performance Parasismique des Eléments Linéaires en Béton". Thèse de Doctorat, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Département de Génie Civil. Université Mentouri 'Constantine'.
- [9] Sang Whan Han, Oh-Sung Kwon and Li-Hyung Lee. *Investigation of dynamic P-Δ effect on ductility factor*. Structural Engineering and Mechanics, Vol. 12, No. 3 249-266, (2001).
- [10] B. Borzi, A.S. Elnashai. "Refined force Reduction Factors for Seismic Design". Elsevier; Engineering Structures 22 1244–1260, (2000).
- [11] Ghadir Haikal. *Overview of Elastic and Inelastic Response Spectra*. MS student, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, (2003).
- [12] Nelson Lam, John Wilson and Graham Hutchinson. *The Ductility Reduction Factor In The Seismic Design Of Buildings*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27, 749-769 (1998).
- [13] N. Djebbar, B. Bousalem, N. Chikh. *Notions Comportement Global – Comportement Local Dans la Performance Parasismique des Portiques en Béton 'Etude Comparative réglementaire'*, Sciences et Technologie B –N 20, Décembre, pp 63-69 (2003)
- [14] FEMA-356. *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C (2000).
- [15] M. Mahmoudi. *The relationship between overstrength and members ductility of RC moment resisting frames*. Pacific Conference on Earthquake Engineering. Paper Number 026, pp. 1-8 (2003).
- [16] Eurocode 8: CEN Technical Commission 250/SC8. *Design provisions for earthquake resistance of structures—Part 1: General rules (ENV 1998)*, CEN, Brussels, (1994).
- [17] A.J. Kappos. *Evaluation of behaviour factors on the basis of ductility and overstrength studies*. Elsevier; Engineering Structures 21, 823–835 (1999).
- [18] CNBC (1995). *Code National du Bâtiment– Canada*. Conseil National de Recherches du Canada– Institut de recherche en construction, Ottawa, Ontario, Canada (1995).