

ÉVALUATION DU CHARGEMENT SISMIQUE DES STRUCTURES À PROFIL IRRÉGULIER EN ÉLÉVATION

T. BRANCIT¹

¹Université HASSIBA BENBOUALI, Chlef, Algérie, e-mail : brancit@yahoo.fr.

RESUMÉ : Une étude a été menée sur le comportement dynamique des structures de bâtiments comportant des décrochements en élévation afin d'évaluer la répartition de leur chargement sismique latéral déduit à partir de la méthode statique équivalente (MSE) « ajustée » du code parasismique RPA 99/2003, et l'analyse dynamique modale spectrale (ADMS). La MSE a été ajustée afin d'être applicable aux structures irrégulières. Une comparaison entre les résultats des deux méthodes montrent que :

- La MSE ajustée est plus conservatrice ;
- La contribution du mode fondamental demeure prédominante ;
- La partie décrochée accuse d'importants déplacements horizontaux.

Mots- clés : Structure – Irrégulier – Code – Sismique – Méthode.

ABSTRACT : A study is made of the dynamic behavior of structure buildings with vertical irregularities to assess the distribution of their lateral seismic load deducted from the adjusted equivalent static procedure (ESP) of seismic code, RPA 99/2003, and spectral dynamic modal analysis (SDMA). A comparison between the results of the two methods shows that:

- The adjusted ESP is conservative,
- The contribution of fundamental mode is predominant.

Key words : Structure – Irregular – Code – Seismic – Method.

1- Introduction

Le présent article concerne l'étude des structures de bâtiments composées par des portiques et comportant des irrégularités en élévation, ce qui correspond à une réduction de leur largeur le long de leur hauteur (décrochements en élévation). Ce type de conception architecturale est connu comme étant l'une des principales causes de dommages ou d'effondrements des constructions durant les séismes passés. Cette source de vulnérabilité est due essentiellement à une distribution irrégulière des charges ou des rigidités qui donne naissance à de sérieuses concentrations de contraintes au niveau de la discontinuité et affecte ainsi défavorablement le comportement de la construction sous l'action d'un tremblement de terre.

L'objectif de cette étude est de pouvoir établir une procédure simple permettant de calculer l'effort tranchant sismique total à la base pour ce type de structures pour lesquels la méthode statique équivalente du code RPA 99/2003 Ref.[7] n'est pas applicable. Comme il s'agit de structures ayant un seul décrochement en élévation, un modèle de calcul approché Ref.[11], représenté par un système d'oscillation à deux degrés de liberté, est pris en compte pour adapter la méthode statique équivalente du code évoqué ci-dessus au calcul des charges sismiques latérales de ce type de structures. Par ailleurs, plusieurs investigations ont identifiées par le passé des écarts significatifs entre les réponses sismiques des structures à profil régulier et celles des structures à profil irrégulier Refs. [1-3, 6, 9-11].

2- Analyse

2.1- Choix des structures

Le choix des structures considérées dans cette étude concerne des portiques à deux (2) dimensions de plusieurs étages et plusieurs travées et comportant un décrochement unique en élévation caractérisé par un paramètre $R_h = h/H$, définissant le niveau du décrochement Ref.[6]. La relation « $R_h = 1.0$ » correspond à une structure régulière équivalente. H et h étant respectivement la hauteur totale de la structure et celle de la partie située en-dessous du niveau du décrochement « base ».

2.2- Modèle de calcul

En dynamique, le comportement d'une structure comportant un seul niveau de décrochement peut être facilement assimilé à celui d'un système généralisé à deux (2) degrés de liberté de vibration. Refs.[4, 8, 12]. La déformée du modèle est décrite par la figure 1 où sont indiquées les deux coordon-

nées généralisées $Z_t(t)$ et $Z_b(t)$ représentant respectivement, à l'instant t , le déplacement du sommet de la base (partie inférieure) et de celui de la tour (partie supérieure) de la structure ; $m(x)$ et $v(x,t)$ indiquent respectivement la répartition de la masse et la fonction de la déformée attribuées à chaque partie de la structure. Le mouvement d'oscillation d'un tel système peut être facilement résolu par les équations de Lagrange basées sur les énergie cinétique et potentielle du système Ref.[5].

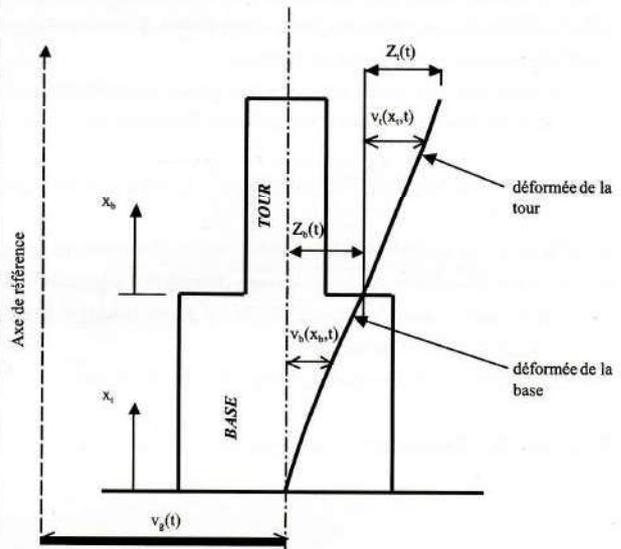


Figure 1 : Déformée fondamentale du modèle à deux degrés de liberté.

2.3 - Formulation des expressions de la période de vibration et de l'effort tranchant à la base

L'établissement et la résolution des équations de mouvement du modèle précédent conjugués à des hypothèses simplificatrices et après transformations conduit à l'expression simplifiée de la période fondamentale de la structure irrégulière $T_{irrég.}$ en fonction de celle de la structure régulière équivalente $T_{rég.}$:

$$T_{irrég.} = \frac{1}{\Omega H} h_b T_{rég.}$$

avec

$$T_{rég.} = C_t H^{0.75} \quad (\text{RPA99/2003}) \quad (1)$$

et :

$$2 = \frac{1 + (1 + 3\mu)\Omega_f^2 - \sqrt{[1 + (1 + 3\mu)\Omega_f^2]^2 - \Omega_f^2(4 + 3\mu)}}{2 + 1.5\mu} \quad (2)$$

où : $\Omega = \frac{\omega}{\omega_b}$, $\Omega_t = \frac{\omega_t}{\omega_b}$ et $\mu = \frac{M_t}{M_b}$;

ω , ω_b et ω_t correspondent respectivement à la pulsation de la structure irrégulière, de la base et de la tour ; μ désigne le rapport de la masse totale de la tour à celle de la base ; H , h_b et C_t sont la hauteur totale de la structure, celle de la base et le type de contreventement.

D'après l'analyse dynamique modale spectrale et après déduction, l'effort tranchant dynamique à la base de la structure est obtenu par :

$V_d = A Q W_1 S_1 \lambda$

avec :

$$\lambda = \sqrt{1 + \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^2 \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 + \left(\frac{W_3}{W_1}\right)^2 \left(\frac{T_1}{T_3}\right)^2 + \dots + \left(\frac{W_n}{W_1}\right)^2 \left(\frac{T_1}{T_n}\right)^2}$$

où les paramètres A , Q , T_n , W_i et S_i désignent respectivement le coefficient d'accélération de zone, le facteur de qualité, la période et le poids du $i^{ème}$ mode, et le spectre de réponse.

Finalement la relation (5), donnée ci-dessous, exprimant le rapport de l'effort tranchant élastique maximal à la base V_e à celui de l'effort tranchant dynamique V_d , permet d'ajuster tout résultat obtenu par une analyse dynamique pour satisfaire les conditions de la réglementation parasismique.

$$\frac{V_e}{V_d} = \frac{W}{\lambda W_1} \tag{5}$$

3- Applications numériques

3.1- Etude comparative

Sur la base des résultats exposés ci-dessus, une étude a été menée sur une structure irrégulière en élévation où trois méthodes sont considérées pour évaluer : (a) l'effort tranchant à la base, (b) les cisaillements d'étage et (c) les moments de renversement. La 1^{ère} méthode, désignée sous le nom de «méthode RPA», correspond à la MSE basée sur la période T_{reg} . La 2^{ème} méthode, désignée par «méthode RPA ajustée», est basée sur la période $T_{irrég}$. La 3^{ème} méthode correspond à l'ADMS.

D'après la Fig. 2 et en référence à l'ADMS :

- la méthode « RPA » sous-estime les efforts de cisaillement d'étages près du pied de la structure, mais elle les surestime dans la partie haute de la «base» et sur toute la hauteur de la «tour». Par contre, elle surestime le moment de renversement dans toute la structure ;

- la méthode « RPA ajustée » se montre conservatrice, car elle surestime les efforts de cisaillements d'étages et les moments de renversement de la

structure.

La Fig. 3 illustre l'effet des contributions modales vis-à-vis des efforts de cisaillement d'étages, des moments de renversement et des déplacements horizontaux d'étages de la structure considérée. Il est à remarquer une contribution prédominante du premier mode par rapport au second vis-à-vis du déplacement et du moment de renversement. De même, on constate que le mode fondamental constitue une contribution majeure au cisaillement d'étage de la partie tour de la structure et pourrait être seul gardé en pratique.

3.2- Effet du niveau du décrochement R_h sur la réponse

La Fig. 4 montre l'influence du niveau du décrochement, symbolisé par le paramètre R_h , sur la réponse de la structure irrégulière considérée, en termes de déplacements horizontaux maximaux d'étages où l'on constate qu'au fur et à mesure que R_h croît, la tour montre d'importants déplacements par rapport à ceux de la structure régulière équivalente ($R_h = 1$) bien que sa hauteur diminue.

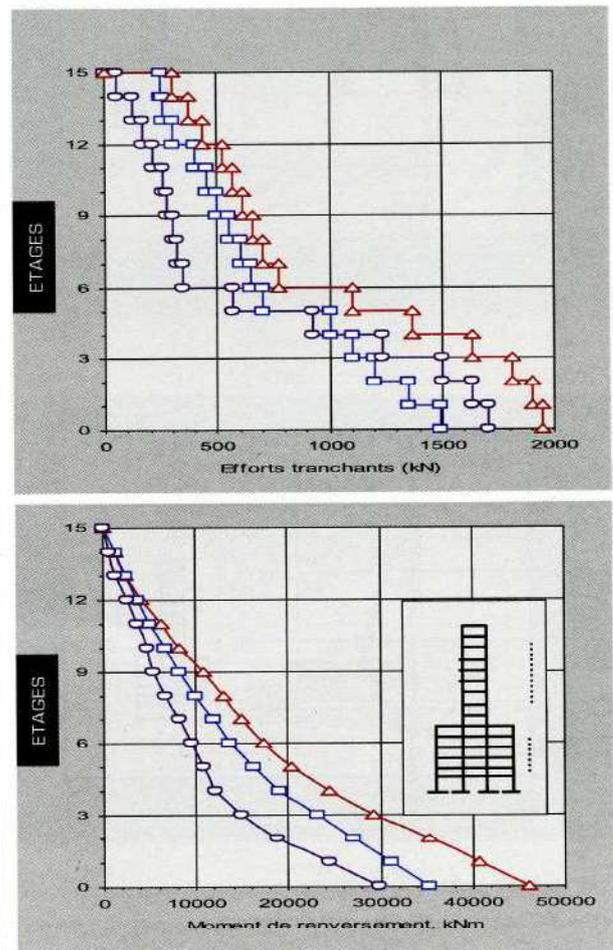


Figure 2 : Comparaison de la répartition des efforts tranchants et des moments de renversement par :

- Méth. RPA ▲ Méth. RPA ajustée
- Méth. Dyn. Mod. Spectrale

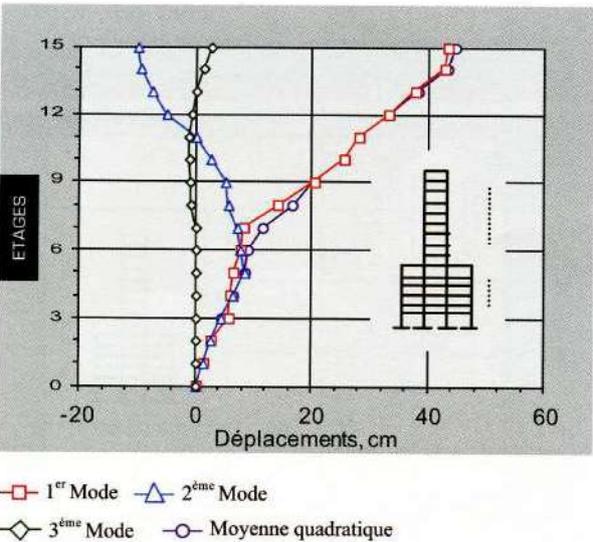
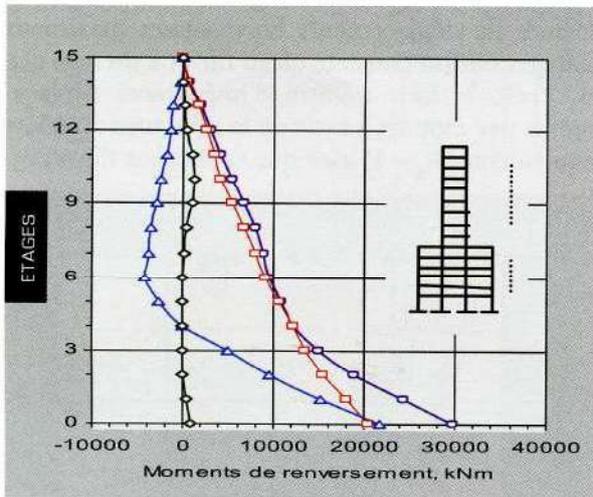
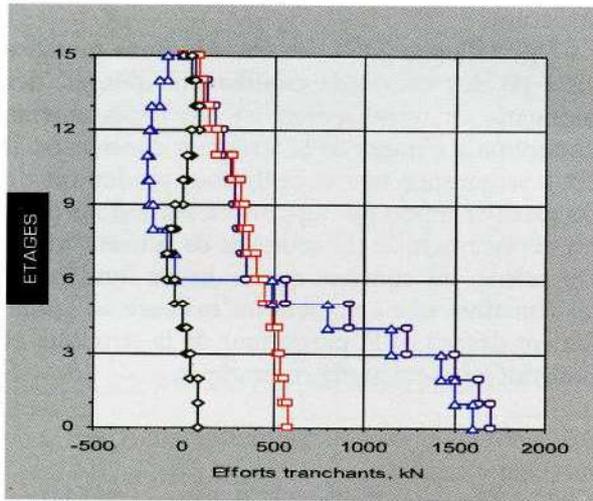


Figure 3: Comparaison de l'effet des contributions modales sur la répartition des efforts tranchants, des moments de renversement et des déplacements d'étages.

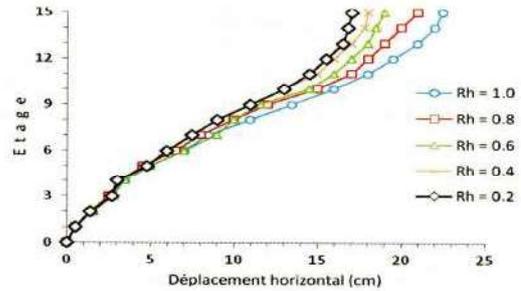


Figure 4: Effet du décrochement sur les déplacements maximums d'étages.

4- Conclusions

La présente étude montre que l'analyse sismique des structures irrégulières avec un décrochement en élévation peut être facilement exécutée avec la méthode statique équivalente usuelle du code grâce à l'utilisation d'un modèle dynamique généralisé à deux degrés de liberté permettant d'adapter cette dernière à ce type de structures et moyennant certaines hypothèses. Ainsi, la période fondamentale de vibration et les charges sismiques peuvent être aisément déterminées. Les principales conclusions déduites à partir des résultats de l'application effectuée sur une structure irrégulière montrent que cette méthode est conservatrice vis-à-vis des efforts de cisaillement et des moments de renversement, et que d'après l'analyse dynamique modale spectrale la contribution du mode fondamental reste toujours prédominante. Par ailleurs, une étude paramétrique montre que la tour est sujette à d'importants déplacements horizontaux quand le niveau de décrochement augmente.

5- RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Ali A.K. Al-Ali and Helmut Krawinkler, *Effects of vertical irregularities on seismic behavior of buildings structures.*, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report N° 130, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, 1998.

[2] Athanassiadou C.J., *Seismic performance of R/C plane frames irregular in elevation*, *Engineering Structures*, vol. 30, pp. 1250-1261, 2008.

[3] Chintanapakdee C. and Chopra A.K., *Seismic Response of Vertically Irregular Frames: Response History & Modal Pushover Analysis.*, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, vol. 130, No. 8, pp. 1177-1185, 2004.

[4] Clough R. W. and Penzien J., *Dynamics of structures.*, 2ème Ed. Mc Graw-Hill, Inc., New York, 1993.

[5] George G. Penelis and Andreas J. Kappos, *Earthquake-resistant concrete structure.*, E & FN Spon, 1997.

[6] Humar J.L., and Wright E.W., *Earthquake response of steel-framed multistorey buildings with set-backs.*, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 5, p.15-39, 1977.

[7] RPA 99/2003, *Règles parasismiques Algériennes.*, Centre National de Recherche Appliquée en Génie-Parasismique, Alger, Algérie, 2003

[8] SEAOC, *Seismology Committee, Structural Engineers Association of California, Recommended lateral force requirements and commentary.*, 1999 Revision, San Francisco, California, 1999.

[9] Sharon Wood L., *Seismic response of R/C frames with irregular profiles.*, *Journal of Structural Engineering*, vol. 118(Issue 2): February 1992.

[10] Valmundsson E. V. and Nau J. M., *Seismic response of building frames with vertical structural irregularities.*, *Journal of Structural Engineering*, vol. 123(Issue 1), January, 1997.

[11] Wong C.M. and Tso W. K., *Seismic loading for buildings with setbacks.*, *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol.21, n°5, p. 863-871, 1994.