

ÉVALUATION DU CHARGEMENT LATÉRAL SISMIQUE D'UNE STRUCTURE AUTO-STABLE DISSYMMÉTRIQUE EN PLAN

T. BRANCI¹, S. BOURADA², A. GUENDOUSI³

^{1, 2, 3}LME, Université HASSIBA BENBOUALI, Chlef, Algérie, e-mail : brancit@yahoo.fr

RESUME : L'objet principal de la présente étude est d'estimer la distribution des efforts tranchants dans la structure auto-stable d'un bâtiment comportant des dissymétries en plan soumis à des forces sismiques latérales capables de provoquer, dans ce cas, des déformations simultanées de translation et de torsion. A cet effet, la répartition des efforts tranchants est obtenue par les forces sismiques calculées à partir de la méthode statique équivalente du code parasismique algérien RPA 99 (version 2003) et de l'analyse modale spectrale. La comparaison des résultats obtenus par ces deux méthodes a permis de mettre en évidence la différence en termes de répartitions d'efforts tranchants dans ce type de structures.

Mots - clés : Evaluation, Effort, Sismique, Dissymétrie, Code.

ABSTRACT : The main purpose of this study is to estimate the distribution of shear forces in the structure of a building containing asymmetries plan subjected to lateral seismic forces which can cause, in this case, simultaneous deformation translational and torsional. For this purpose, the distribution of shear forces is obtained by seismic forces calculated from the equivalent static method of seismic code Algerian RPA 99 (version 2003) and spectral modal analysis. Comparison of the results obtained by these two methods allows showing the difference in terms of distributions of shear forces in such structures.

Kee-Words : Evaluation, force, seismic, asymmetrie, code.

1- Introduction

Les bâtiments comportant des éléments structuraux répartis de manière irrégulière en plan offrent souvent une mauvaise résistance aux séismes comparés à des bâtiments dont la répartition de leurs éléments structuraux est régulière en plan. Cette faible résistance de ces bâtiments, face à des séismes plus ou moins sévères, est due essentiellement à une distribution inégale des masses et des rigidités du bâtiment suivant son plan horizontal. Dans ce cas, les centres de gravité et de rigidité des planchers se trouvent plus ou moins éloignés les uns par rapport aux autres engendrant ainsi, lors d'un tremblement de terre, des efforts supplémentaires dans le bâtiment dus aux effets de torsion. Le but de la présente étude est donc d'analyser de manière plus détaillée la répartition des charges sismiques dans cette catégorie de bâtiments à l'aide de la méthode statique équivalente du code parasismique algérien RPA 99 (version 2003) Ref.[4] et par l'analyse modale spectrale établie par ce même code. L'étude est menée en considérant que les charges sismiques sont perpendiculaires au plan d'irrégularité susceptibles d'engendrer à la fois des déformations de torsion et de translation. Le code parasismique RPA ne spécifie aucune restriction quant à l'utilisation de la méthode statique équivalente dans la détermination des charges sismiques pour ce type de bâtiment. Par contre, il recommande de considérer à chaque niveau une excentricité par rapport au centre de torsion pour parer à l'effet de torsion. Par ailleurs, au cours des dernières années plusieurs études ont été publiées au sujet des prescriptions réglementaires des codes parasismiques et du comportement sismique des structures irrégulières sujettes à la torsion Refs.[1-3, 6-8].

Le but de ce travail est de présenter une étude comparative sur la distribution des charges sismiques dans les structures des bâtiments comportant un système de contreventement disposé de manière irrégulière en plan, soumises à un chargement sismique perpendiculaire au plan d'irrégularité. Dans un premier temps, c'est l'analyse modale spectrale qui est utilisée, ensuite c'est la méthode statique équivalente. Les résultats issus des deux méthodes sont comparés et les causes des différences sont discutées.

2. Description du système structural du bâtiment

Un bâtiment, contreventé par des portiques autostables en béton armé et composés de six étages et trois travées, est considéré (Fig. 1). Malgré son profil régulier et une symétrie de ses éléments structuraux par rapport au plan vertical oxz , le bâtiment présente quand même une dissymétrie sur le plan de résistance par rapport au plan vertical oyz . Cette dissymétrie est due essentiellement aux dimensions des poteaux des files 3 et 4 qui sont plus importantes que celles des poteaux des files 1 et 2. Cet état de fait peut exposer le bâtiment à des effets de torsion selon la direction oy . Les caractéristiques géométriques des poteaux et des poutres sont indiquées dans le tableau 1, ci-après. Ce bâtiment est choisi pour évaluer d'une manière plus détaillée la distribution du chargement sismique à l'aide des deux méthodes citées précédemment afin de montrer les différences susceptibles d'exister entre les actions statique et dynamique en termes d'efforts tranchants et d'expliquer les causes de ces différences. Ces méthodes sont toutes deux autorisées par la réglementation parasismique pour ce type de bâtiment puisqu'il ne possède aucune irrégularité apparente selon ses plans.

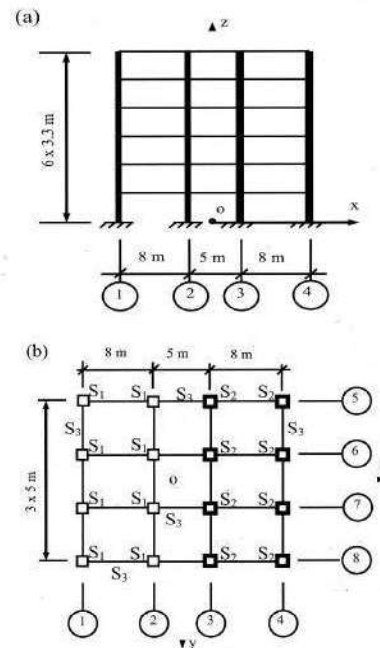


Figure 1 : Vues du bâtiment : (a) en élévation, (b) en plan.

Tableau 1 : Caractéristiques géométrique et mécanique des éléments du bâtiment

Dimensions des poteaux (cm)	Dimensions des poutres (cm)	Hauteur d'étage, h (m)	Poids du plancher (kN/m ²)	Masse volumique du matériau (BA) ρ (kN/m ³)
File 1 et 2	File 3 et 4	Toutes les files	G (charge permanente) = 5.85 Q (surcharge d'exploitation) = 2.50	25.0
45 x 45	65 x 65	40 x 60	3.30	

3. Méthode modale d'analyse modale

Le code RPA fournit un spectre de réponse de calcul qui permet d'évaluer les forces sismiques pour chaque mode de vibration. Ces forces sont ensuite combinées pour obtenir la réponse de la structure. Les formules mathématiques, au nombre de quatre, qui régissent ce spectre de calcul sont fonctions de plusieurs paramètres parmi lesquels on trouve le coefficient d'accélération de zone (A), le facteur de qualité (Q), le coefficient de comportement (R), le pourcentage d'amortissement critique (ξ) et les périodes caractéristiques associées à la catégorie du site (T_1 , T_2) où est implanté le bâtiment. Pour le bâtiment considéré dans cette étude, ces paramètres sont résumés dans le tableau 2, donné ci-dessous. L'utilisation du spectre de réponse n'est possible qu'après une analyse modale où les résultats de celle-ci sont les valeurs et les vecteurs propres de la structure.

Table 2: Valeurs des paramètres considérés

A	Q	R	ξ (%)	T_1 (sec.)	T_2 (sec.)	D	W (kN)	η	β	C_T	T(sec.)
0.15	1.35	3.50	5.00	0.15	0.40	2.50	17395.0	1.0	0.20	0.05	0.12

4. Méthode statique équivalente

Selon le code RPA, la force sismique totale appliquée à la base de la structure est exprimée par une formule mathématique, fonction des mêmes paramètres A, Q et R, cités plus haut, ainsi que du poids total de la structure (W) et du facteur d'amplification dynamique moyen (D). Les valeurs des deux derniers paramètres sont contenues également dans le tableau 2. Le paramètre D est fonction de la catégorie du site, d'un facteur de correction d'amortissement (η) et de la période fondamentale T. Le poids W est égal à la

somme des poids de tous les niveaux du bâtiment, comprenant à la fois les charges permanentes et une fraction (β) des charges d'exploitation. Les formules empiriques utilisées pour l'estimation de la force sismique totale, la distribution de la force sismique totale selon la hauteur du bâtiment et de la période fondamentale sont données respectivement par les équations suivantes :

$$V = \frac{ADQ}{R} W \quad (1)$$

$$F_i = \frac{(V - F_t) W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \quad (2)$$

$$T = C_T H^{3/4} \quad (3)$$

où $h_i = h_j$: hauteur de l'étage i mesurée à partir de la base, W_j : poids de l'étage j, et $F_t = 0.07 TV \leq 0.25 V$: force concentrée au sommet de la structure ($F_t = 0.0$ si $T \leq 0.7$ sec.).

5. Distribution du chargement dans le bâtiment

Le logiciel de calcul Sap2000 Ref.[5] est appliqué tout d'abord pour effectuer l'analyse modale afin de déterminer les fréquences et les modes propres de la structure, ensuite le calcul des efforts sismiques est mené sur la base de ces résultats et du spectre de réponse fourni par le code RPA. Par ailleurs, l'amplitude du spectre de réponse est ajustée de façon à ce que l'effort tranchant à la base obtenu par la méthode dynamique soit égal à celui obtenu par la formule empirique donnée par le code RPA. Sous l'action des efforts sismiques, dirigés suivant la direction oy, le bâtiment subit, en plus d'un mouvement de translation, un mouvement de rotation et les modes de vibration sont, dans ce cas, couplés. Chaque mode de vibration est une combinaison à la fois d'un mode de torsion et d'un mode de translation suivant la direction oy. La torsion et la translation génèrent, respectivement, des moments de torsion et des forces latérales au niveau des planchers du bâtiment.

6. Analyse des résultats

Les allures des deux premiers modes de vibration et leurs périodes correspondantes sont illustrées respectivement par la Fig. 2. Les distributions des efforts tranchants des quatre portiques, selon la direction oy, sont indiquées sur la Fig. 3. Les efforts tranchants, engendrés simultanément par les forces latérales et par les moments de torsion, sont présentés séparément. Ces efforts sont ensuite combinés pour obtenir la réponse totale en termes de distribution d'efforts tranchants.

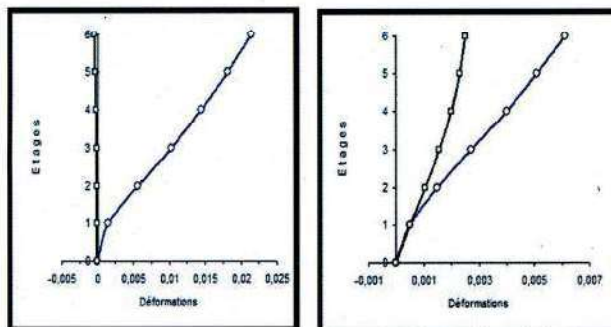


Figure 2 : Modes et périodes propres de vibration du bâtiment.

—□— Rotation —○— Translation

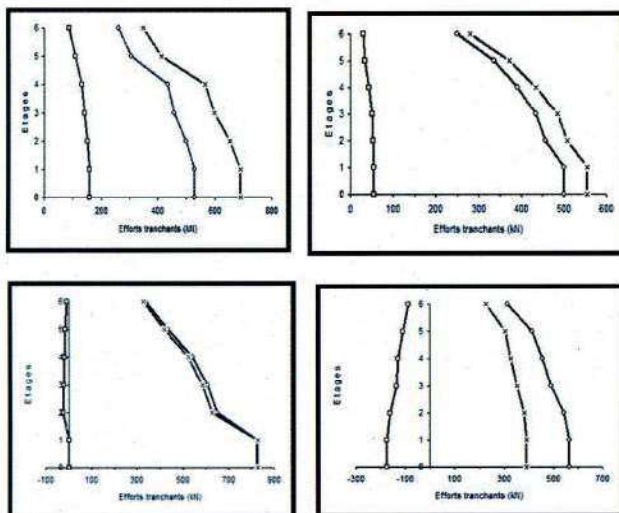


Figure 3 : Contribution du mode 1 aux efforts tranchants du bâtiment dus aux :

—□— moments de torsion et —○— charges latérales
—x— réponse totale

Il est à noter que, dans le premier mode de vibration, du point de vue combinaison, les efforts tranchants dus à la rotation et à la translation s'additionnent dans les portiques 1 et 2, par contre, ils se retranchent dans les portiques 3 et 4. Sous l'action des forces

latérales, le portique 1 est sollicité par un effort tranchant à la base égale à 530 kN, et par les efforts dus à la torsion à 160 kN, totalisant ainsi un effort tranchant à la base de 690 kN. L'effort tranchant à la base selon le premier mode, dû aux forces latérales, représente 77 % de l'effort tranchant total à la base. Les phases des deux modes de vibration, 1 et 2, sont opposées. Pour le mode 2, les efforts tranchants dus à la rotation et à la translation se retranchent dans les portiques 1 et 2 et s'additionnent dans les portiques 3 et 4. La distribution de ces efforts est illustrée par la Fig. 4. La contribution du mode 2 à l'effort tranchant à la base du portique 1, due aux forces latérales, s'élève à 75 kN, tandis que celle due aux moments de torsion atteint 205 kN, totalisant ainsi un effort tranchant de 130 kN. Dans le cas du portique 2, les efforts tranchants des deux sollicitations (torsion et translation) sont de signes contraires et très proches en amplitudes ; ce qui conduit, de ce fait, une fois additionnés, à une contribution très faible du second mode vis-à-vis du portique 2, environ 6.0 kN.

Ainsi, le calcul mené suivant la méthode du spectre de réponse, montre que la contribution des deux premiers modes de vibration à l'effort tranchant à la base du bâtiment considéré par les forces de translation est de l'ordre de 91 %. En conséquence, la contribution des modes supérieurs au-delà du second mode peut donc être négligée. Pour un calcul de dimensionnement, la distribution des efforts tranchants dans chaque portique peut être obtenue dans ce cas seulement par la combinaison des deux premiers modes en utilisant la méthode de la somme quadratique des réponses, c'est-à-dire qu'on considère l'indépendance des modes et qu'on tient compte de la non concomitance des réponses modales maximales. Les résultats issus de cette combinaison relatifs aux portiques 1 à 4 sont présentés sur la Fig. 5. A titre d'exemple, les efforts tranchants à la base du portique 1 dus au mode 1 et 2 s'élèvent à 690 kN et 130 kN respectivement. La combinaison de ces deux efforts par la combinaison quadratique fournie, à la base du même portique, un effort tranchant égal à 702 kN. De ce fait, la contribution du mode 1 à l'effort tranchant dynamique à la

base du portique 1 est estimée à 98 % environ.

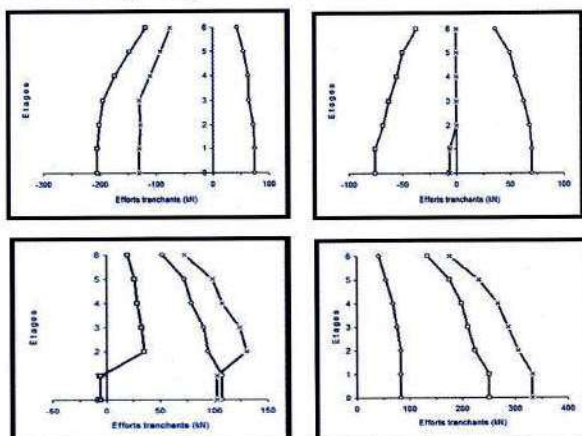


Figure 4 : Contribution du mode 2 aux efforts tranchants du bâtiment dus aux :
—x— réponse totale —□— moments de torsion et —○— charges latérales.

Les résultats correspondants à la distribution des efforts tranchants obtenus par la méthode statique équivalente sont présentés sur la même figure que ceux obtenus par la méthode du spectre de réponse. Il est à noter que les distributions des efforts tranchants dans les portiques, calculées avec les deux méthodes, sont sensiblement différentes les unes des autres bien que l'effort tranchant total à la base du bâtiment est unique. La différence est plus significative au niveau des portiques de rive. Les efforts tranchants sont sous-estimés dans le portique 1, mais surestimés dans le portique 4, par l'utilisation de la méthode statique équivalente. La sous-estimation de l'effort tranchant à la base du portique 1 est d'environ

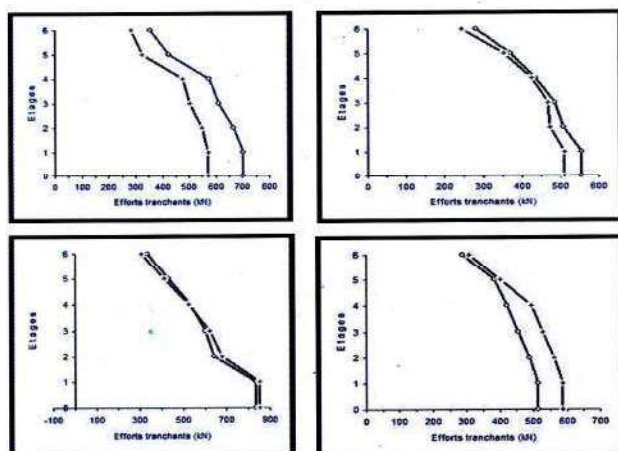


Figure 5 : Comparaison des efforts tranchants du bâtiment obtenus par :
—○— Spectre de réponse et —x— Méthode statique équivalente

19%. De ce fait, il existe deux raisons pour justifier cette différence. D'une part, la méthode statique équivalente est incapable de simuler la contribution des modes supérieurs. D'autre part, elle est également incapable de simuler les effets des moments de torsion par les charges latérales issues du premier mode avec leur point d'application situé au centre de rigidité des planchers.

7. Conclusions

Une étude est menée sur la distribution de la charge sismique d'un bâtiment dissymétrique. La distribution a été effectuée en utilisant la méthode du spectre de réponse et la méthode statique équivalente. Les principales conclusions tirées de cette étude sont les suivantes:

- la contribution des modes supérieurs devient plus significative lorsque les irrégularités du bâtiment augmentent. Pour un bâtiment dissymétrique, de hauteur modérée, la contribution du premier mode est souvent suffisante pour une représentation de la distribution de l'effort tranchant d'un portique. Pour un bâtiment dont le contreventement est réparti d'une manière dissymétrique, tel que le bâtiment considéré dans cette étude, la combinaison des deux premiers modes devient nécessaire.
- la méthode approchée qui utilise les forces statiques équivalentes passant par les centres de rigidité des planchers possède deux inconvénients. Elle est incapable de simuler la contribution des modes supérieurs et les forces d'inertie des moments de torsion engendrées par le premier mode de vibration. Les distributions des efforts tranchants dans les portiques intérieurs sont moins sensibles à la contribution des modes supérieurs et aux forces d'inertie des moments de torsion du premier mode. Par conséquent, la méthode statique est tout à fait adéquate pour évaluer la distribution de l'effort tranchant dans les portiques intérieurs, mais par contre, elle est considérée comme insuffisante pour estimer de manière exacte la distribution des efforts dans les portiques de rive.

8. Références Bibliographiques :

- [1] Gulay, F. G. and Calim, G., *A comparative study of torsionally unbalanced multi-storey structures under seismic loading.*, Turkish Journal of Engineering and Environmental Science, 2003.
- [2] Humar, J. L. and Kumar, P., *Torsional motion of buildings during earthquake. I. Elastic response.* Canadian journal of Civil Engineering, Vol. 25, 1998.
- [3] Poursha, M., Khoshnoudian, F., and Moghadam, A.S., *A consecutive modal pushover procedure for nonlinear static analysis of one-way unsymmetric-plan tall building structures*, Engineering Structures, Vol. 33, 2011.
- [4] RPA 99/version 2003, Règles Parasismiques Algériennes, DTRBC 248, Alger, 2003.
- [5] Sap 2000, Structural Analysis Program, Computers and Structures, Inc., Berkeley, 2000.
- [6] Tso, W. K. and Smith, R.S.H., *Re-evaluation of seismic torsional provisions : Asymmetric and irregular structures.*, European Association of Earthquake Engineering, Istanbul, Vol. 1, 1999.
- [7] Tso, W. K. and Yao, S., *Seismic load distribution in building with eccentric setback.* Canadian journal of Civil Engineering, Vol. 21, 1993.
- [8] Zhu, T. J. and Tso, W. K., *Design of torsionally unbalanced structural systems based on code provisions II: Strength distribution.*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 21, 1992.