

# INFLUENCE DES PROCEDURES D'EVALUATION DE L'ACTION SISMIQUE SUR LA REponse DYNAMIQUE DES STRUCTURES

B. LAMRI,  
Y. ZERROUKAT,  
Université de Chlef,

## RÉSUMÉ

Les codes parasismiques recommandent deux procédures d'évaluation de l'action sismique: la procédure statique et la procédure dynamique. Pour la première, l'action sismique est introduite sous forme statique à une action dynamique. La procédure dynamique est abordée selon deux approches: la première, basée sur les spectres de réponse permet de déterminer la réponse maximale. La deuxième approche, plus rigoureuse consiste à analyser la réponse en fonction du temps. Elle nécessite l'utilisation des enregistrements sismiques réels ou artificiels.

L'étude présentée consiste en une analyse comparative des différentes procédures d'évaluation de la réponse dynamique en se basant sur des données sismiques de la région de Chlef. Elle permet également d'établir des spectres de réponse. Enfin, une procédure simplifiée est proposée pour une évaluation directe de l'action sismique des structures à barres en se basant sur les spectres établis et réglementaires.

## MOTS CLÉS

Structure • procédure • séisme • accélérogramme • spectre • codes.

### 1. Introduction

L'analyse de la réponse dynamique des structures sollicitées par un processus vibratoire donné par un enregistrement sismique nous permet d'établir des spectres de réponse. Pour les structures régulières, l'histoire de la réponse n'est que rarement demandée et les maximums suffisent pour son évaluation [1]. Les codes recommandent une approche statique pour ce type de structures. Pour les structures irrégulières, une procédure dynamique est nécessaire pour connaître la réponse pour toute la durée du processus vibratoire. Elle est abordée selon deux approches, une analyse modale d'après les spectres de réponse et une analyse dans le temps d'après des accélérogrammes.

La présente étude consiste en une analyse comparative des différentes approches d'analyse en se basant sur des données sismiques de la région de Chlef. Une procédure simplifiée est proposée pour une évaluation directe de l'action sismique. Elle repose sur l'utilisation des spectres établis d'après les accélérogrammes.

### 2. Formulation des équations du mouvement

Dans le cas d'un système à plusieurs degrés de liberté (p.d.l) avec amortissement viscoélastique sollicité par une excitation sismique, l'équilibre dynamique est régi par le système d'équations suivant

$$[M] \{\ddot{X}(t)\} + [C] \{\dot{X}(t)\} + [K] \{X(t)\} = \{P_{eff}\} \quad (1)$$

Avec:

[M] : Matrice des masses ;

[C] : Matrice d'amortissement

[K] : Matrice de rigidité ;

{X}, {\dot{X}}, {\ddot{X}} : vecteurs de déplacement, de vitesse et d'accélération,

$P_{eff} = -M\gamma_s$  ( $\gamma_s$  : accélération du sol)

### 3. Procédure statique d'évaluation de l'action sismique

Pour les structures simples, les codes recommandent une procédure statique pour l'évaluation de l'action sismique. On utilise des formules simplifiées qui prennent en compte différents paramètres se rapportant à la zone, l'importance de l'ouvrage, la nature du site et le type de sollicitations.

La procédure statique préconisée par le code parasismique algérien (RPA 88) consiste à remplacer les forces sismiques réelles par des forces statiques [2]. La force sismique globale engendrée à la base de la structure est donnée par la formule

$$F = ABDQW \quad (2)$$

La distribution des forces sismique selon le règlement est donnée pour les structures avec des période propres inférieures à 0.7 secondes par la formule :

$$F_i = F \frac{W_i h_i}{\sum W_j h_j} \quad (3)$$

Cette procédure utilise un spectre de réponse adapté: (Coefficient d'amplification dynamique D).

#### 3.1 Procédure proposée pour l'évaluation de l'action sismique

Dans le cadre du présent travail, une procédure simplifiée est proposée pour une évaluation directe de l'action sismique des structures simples. Cette procédure permet la détermination directe des forces sismiques engendrées dans la structure. Elle repose sur l'hypothèse que la structure est supposée vibrer à son mode fondamental. Ainsi, les masses des différents niveaux sont soumises en même temps à une même accélération (pic du spectre de réponse).

Les forces produites sont données par les forces d'inertie engendrées par la pseudo-accelération ( $\gamma_{max}$ ) représentée sur la figure 1 a.

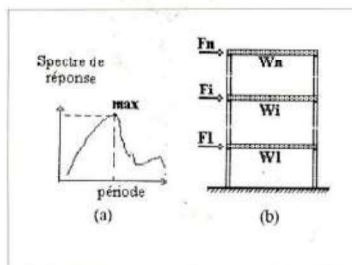


Figure 1 : Schéma statique pour l'évaluation des forces sismiques

(a) : Excitation

(b) : Portique avec forces statiques

La force latérale engendrée à chaque niveau de la structure est donnée en fonction du poids et de la pseudo-accelération par la formule suivante

$$F_i = \frac{W_i}{g} \gamma_{max} \quad (4)$$

avec

$F_i$  : Force statique au niveau  $i$

$W_i$  : Poids du plancher

$\gamma_{max}$  : Pic du spectre de réponse

La relation entre le spectre d'accélération et les coefficients sismiques du code RPA 88 est donné par :

$$\gamma = ABDQ \quad (5)$$

#### 4. Application

Pour illustrer les différents résultats nous avons considéré un exemple de portique plan de 2 niveaux à une seule travée. L'analyse est faite sur la base de trois types de spectres de réponse RPA 88, spectre de réponse Chlef (1985) et spectre d'El-Centro (1940). Les spectres de réponse ont été établis par la résolution d'équations du mouvement d'oscillateurs simples par la méthode d'intégration standard de Newmark. Les tableaux 1, 2 et 3 illustrent les résultats statiques dans les différents éléments du portique selon la procédure statique du RPA 88 et la procédure proposée.

Force sismique (kN)	Méthode statique	Méthode proposée
	A=0.35 B=0.5 Q=1.35 D=2	$\gamma_{max}$ =0.236g
Ft	283.500	/
F1	162.000	141.750
F2	121.500	141.750

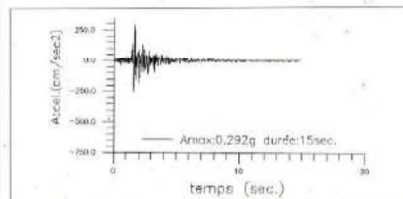


Tableau 1 : Evaluation des forces sismiques.

Figure 2 : Composante E-W du séisme

E <sup>f</sup>	Dis	Efforts		
		Résultats statiques code RPA88		
		N(N)	T(N)	M(N.m)
1	0.0	59934.55	-56342.82	124384.82
	4.0		-56341.82	-100976.44
3	0.0	13351.50	-22698.13	24808.99
	3.0		-22698.13	-43285.39
5	0.0	00000.00	46589.04	-125785.43
	5.0		56583.04	132129.79
6	0.0	00000.00	13351.50	-43285.39
	5.0		23351.50	48472.12

Tableau 2 : Résultats statiques (code RPA 88)

E <sup>f</sup>	Dis	Efforts		
		procédure proposée		
		N(N)	T(N)	M(N.m)
1	0.0	64591.13	-56892.82	124903.36
	4.0		-56342.82	-100467.90
3	0.0	15758.35	-26748.13	30941.87
	3.0		-26748.13	-49302.51
5	0.0	00000.00	48832.78	-131409.7
	5.0		48832.78	137754.12
6	0.0	00000.00	15758.35	-49302.51
	5.0		25758.35	54489.25

Tableau 3 : valeurs du coefficient Kp dans le cas de figure 2b.

### 5. Procédure dynamique d'évaluation de l'action sismique

L'analyse dynamique consiste en la résolution du système d'équations suivant :

$$[M] \{\ddot{X}(t)\} + [C] \{\dot{X}(t)\} + [K] \{X(t)\} = - [M] \{I\} \gamma_s \quad (6)$$

En utilisant la méthode de superposition modale, l'accélération du sol est donnée sous la forme d'un spectre de réponse réglementaire ou des spectres correspondant à des accélérogrammes donnés. On utilise la méthode standard de superposition pour la résolution du système d'équations (6).

Figure 3 : Composante NODE de séisme d'ElCentro (USA 1940)

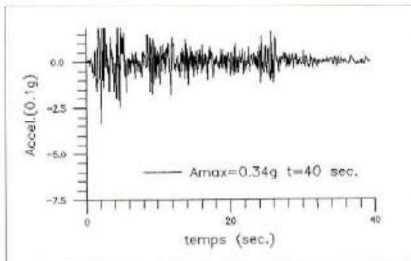
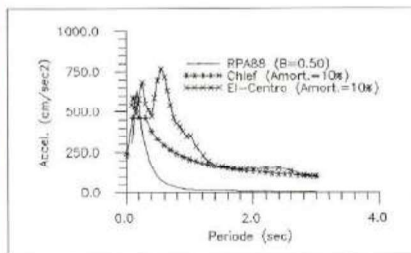


Figure 4 : Comparaison de spectres de réponse



Les accélérogrammes utilisés dans notre analyse sont représentés sur les figures 2 et 3 et les spectres de réponse sur la figure 4. Les tableaux 4, 5, 6 et 7 illustrent respectivement les résultats de l'exemple étudié selon la procédure proposée et la procédure dynamique basée sur les spectres établis d'après l'accélérogramme de Chlef 1985 et EL - Centro 1940.

E <sub>f</sub>	Dist	Efforts		
		Résultats statiques (procédure proposée)		
		N(N)	T(N)	M(N.m)
1	0.0	83300.01	-63320.00	140009.99
	4.0		-63320.00	-113270.01
3	0.0	23181.99	-31660.00	37025.03
	3.0		-31660.00	-57954.97
5	0.0	0.000000	60118.02	-150295.04
	5.0		60118.02	150295.04
6	0.0	0.000000	23181.99	-57954.97
	5.0		23181.99	57954.97

Tableau 4: Réponse statique selon la procédure proposée du séisme (Chlef 1985).

E <sub>f</sub>	Dist	Efforts		
		Résultats d'après spectre de réponse		
		N(N)	T(N)	M(N.m)
1	0.0	55491.15	39031.32	86746.63
	4.0		39031.32	69380.35
3	0.0	16469.47	23212.76	28485.23
	3.0		23212.76	41173.68
5	0.0	00000.00	00000.00	97611.68
	5.0		00000.00	97611.68
6	0.0	000000.00	00000.00	41173.68
	5.0		00000.00	41173.68

Tableau n°5: Réponse dynamique d'après spectre de réponse du séisme de Chlef (1985)

E <sub>f</sub>	Dist	Efforts		
		Résultats statiques (procédure proposée)		
		N(N)	T(N)	M(N.m)
1	0.0	100816.4	-76635.00	169451.44
	4.0		-76635.00	-137088.56
3	0.0	28056.7	-38317.50	44810.69
	3.0		-38317.50	-70141.81
5	0.0	00000.0	72759.70	-181899.25
	5.0		72759.70	181899.25
6	0.0	00000.0	28056.72	-70141.81
	5.0		28056.72	70141.81

Tableau 6 : Réponse statique selon la procédure proposée (spectre du séisme d'El-Centro (1940)).

Et	Dist	Efforts		
		Résultats d'après spectre de réponse		
		N(N)	T(N)	M(N.m)
1	0.0	91842.64	64602.86	143576.51
	4.0		64602.86	114838.07
3	0.0	27265.60	38437.09	47185.74
	3.0		38437.09	68163.99
5	0.0	00000.00	64619.96	161549.91
	5.0		64619.96	161549.91
6	0.0	00000.00	27265.60	68163.99
	5.0		27265.60	68163.99

Tableau n°7: Réponse dynamique d'après spectre de réponse du séisme d'El-Centro (1940)

L'analyse dans le temps permet de décrire l'histoire de la réponse pour toute la durée du processus vibratoire. L'application de cette approche sur la structure donnée en exemple est faite sur la base de l'accélérogramme d'O.B Abdelkader (Chlef 1985) et afin de montrer l'incidence de la nature du séisme sur les résultats des différentes procédures nous avons choisi l'accélérogramme d'El-Centro (1940). Les figures 5 et 6 montrent la réponse du moment en travée aux actions des deux accélérogrammes.

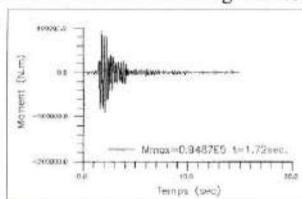


Figure 5: Réponse d'un portique de 02 niveaux à la composante e-w du séisme (Chlef)

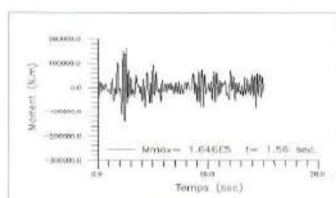


Figure 6: Réponse d'un portique de 02 niveaux à la composante NODE du séisme d'El-Centro

## 6. Analyse des Résultats

Sur la base des résultats obtenus, on remarque que la méthode statique donne des résultats surestimés par rapport à la méthode des spectres de réponse qui varient en fonction de la nature du spectre utilisé dans l'analyse (30 - 35% pour le spectre d'O.B. Abdelkader et 10-15% pour le spectre de réponse d'El-centro). Les résultats obtenus par l'analyse dynamique représentent 65 à 70% de ceux obtenus par l'analyse statique pour le spectre d'O.B. Abdelkader et 85 à 90% pour le spectre d'El-Centro. L'analyse des figures 5 et 6 permettent de relever deux points importants : l'atténuation de la réponse est fonction de la forme de la sollicitation, les réponses maximales correspondent aux résultats obtenus par l'analyse selon les spectres de réponse.

La référence [4] rapporte que le code chinois (NB11-89) recommande un pic d'effort de cisaillement à la base calculé par la méthode d'analyse temporelle ne devant pas être inférieur à 80% de l'analyse statique, le code canadien (NBCC 80) 90%, le code américain (UBC 94) fixe un minimum de 80% [5], le code algérien RPA88 fixe ce taux à 60% [2].

Ces résultats constituent un critère essentiel pour apprécier l'efficacité de la procédure utilisée pour l'évaluation de l'action sismique et de sélectionner les séismes pouvant constituer une base de données fiable [4] [6].

## 7. CONCLUSION

Sur la base de l'analyse faite on peut établir une conclusion se résumant dans les points suivants :

-la procédure proposée pour l'évaluation statique de l'action sismique a donné des résultats concordant avec la méthode statique de code RPA88;

-Les résultats obtenus par le spectre d'O.B Abdelkader montrent une importante surestimation de l'action statique par rapport à l'action dynamique (30 à 35%) mais tout en restant dans la norme fixée par les codes. Avec le spectre d'El-Centro, la surestimation est de l'ordre de 10 à 15%. Ceci met en évidence l'influence du type d'accélérogramme sur les résultats. L'analyse dans le temps de la réponse reste cependant, tributaire de la disponibilité d'une base de données suffisante nécessitant l'implantation d'un réseau de station d'enregistrement sismique.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. Capra, V. Davidovici : "Dynamique des structures en zones sismiques. Paris : Eyrolles. 1984. 163p.
- [2] Document Technique Réglementaire DTR B-C2-48-Règlement Parasismique Algérien RPA 88. Alger : Centre National de Recherche Appliquée en génie parasismique, 1988. 81p.
- [3] N.M Newmark, W.J Halla- Earthquake, W.J Hall- Earthquake spectra and design. Berkeley. California : Earthquake Engineering Research Institute. 1982. 103p.
- [4] M. Cheng, N. Popplewelle- Neural network for earthquake defect in structural time story analysis. 1994, Vol. 23 n°3, p.303-319.
- [5] Uniform Building Code (UBC 94)- California : International conference of building officials 1994, Vol. N°2, 1339p.
- [6] D. Benour : "magnitude intensity and intensity-magnitude attenuation relationships for Atlas region and algerian earthquakes. Earthquake. Engineering and Structural dynamics. 1994, Vol3, n°7, p717-727.
- [7] PAZ (M)- Structural dynamics Theory and computation. New York. Cincinnati. Atlanta. Dallas. San Francisco. London. Toronto. Mulbourne: Van Nostrand Reinhold Company. 1980, 442p.
- [8] CLOUGH (R.W), PENZIEN (J.)- Dynamiques des structures. Tome1. Principe fondamentaux.- Pluralis. 1980, 380p.
- [9] BATHE (K.J.)- Finite element procedures in engineering analysis.- New Jersey: Prentice-Hall, inc. 1982, 735p.
- [10] WILSON (E.L), HABIBULLAH (A.)- A series of computer programs for static and dynamic analysis of structures. -Ber-Keley. California: Computers and structures inc., 1989