



Méthode d'analyse des structures auto-stables en zone sismique

Amar Kahil ^{1*}, Mohand Hamizi ^{1**}, Naceur Eddine Hannachi ^{1***}

¹ Laboratoire de Modélisation Expérimentale et numérique des Matériaux et Structures (LaMoMs).
Département de génie civil, Faculté de génie de la construction, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou B.P.17 Tizi-Ouzou 15000.

Résumé :

Le principe des méthodes d'évaluation de la performance sismique est de fournir une mesure d'aptitude pour un bâtiment ou un ensemble de bâtiments, à être endommagés par un séisme. L'objectif commun de plusieurs de ces méthodes est de fournir des critères de classification. Le but de notre étude, est de présenter une méthode d'évaluation du point de performance sismique des structures, basée sur la méthode Pushover, dont nous nous intéressons particulièrement aux constructions auto-stables en béton armé, qui représentent un pourcentage important du parc immobilier de l'Algérie, ensuite l'identification des degrés de dommages probables pour les différentes zones sismiques, qui sera estimé à travers la division de la courbe de capacité sismique en cinq domaines de dommages, correspondant à l'échelle des dommages EMS 98.

Mots clés :

Analyse Pushover / spectre de réponse / comportement élastique / comportement inélastique / dommages sismiques.

Abstract :

The principle methods for evaluating the seismic performance, is to provide a measure of fitness for a building or complex of buildings to be damaged by an earthquake. The common objective of many of these methods is to provide criteria for classification. The aim of our study is to present a method for evaluating the performance point of structures, based on the method Pushover, we are particularly interested in building stable self-reinforced concrete, which represent a significant percentage of the housing stock of Algeria, then the identification of probable damage for different seismic zones, which will be estimated through the division of



the capacity curve in five areas of damage, corresponding to the scale of damage EMS 98.

Key words:

Pushover analysis / response spectrum / elastic behavior / inelastic behavior / seismic damage

1. Introduction

Une évaluation fiable du comportement d'un bâtiment face à un tremblement de terre, en termes de dommages, requiert un outil permettant une analyse des structures au-delà du domaine élastique. La méthode d'analyse de type Pushover, basée sur les courbes de capacité (ou bien les courbes Pushover), représente une nouvelle approche d'estimation de dommages (structurels et non structurels), incluant notamment les effets du comportement post-élastique.

Les techniques d'analyse de structures consistent essentiellement à comparer un paramètre de demande de déplacement avec un paramètre de capacité.

Dans cette étude, nous développons dans un premier temps des courbes de capacité pour une construction auto stable en béton armé dans le but d'appliquer la méthode Pushover pour d'estimer l'état d'endommagement du bâtiment, ensuite l'évaluation de l'influence de la zone sismique sur la performance sera étudiée.

2. Zone de sismicité

Afin de pouvoir établir un dimensionnement suivant les probabilités d'occurrence sismique, il a été établi par la réglementation parasismique un zonage de sismicité classifiant les différentes zones de l'Algérie où les règles parasismiques RPA 99 sont applicables.

Groupe	Désignation
Groupe 1A	Ouvrages d'importance vitale
Groupe 1B	Ouvrages de grande importance
Groupe 2	Ouvrages courants ou d'importance moyenne
Groupe 3	Ouvrages de faible importance

Tableau 1. Classification des ouvrages

Pour établir le calcul d'une structure, il faut prendre en compte la valeur de l'accélération nominale (a_N), qui correspond à l'accélération du sol et dépend à la fois de la zone de sismicité (figure1) ainsi que de la classe de l'ouvrage [1] regroupés en fonction de leur rôle (tableau 2).

Groupe	Zones			
	I	IIa	IIb	III
1A	0,15	0,25	0,30	0,40
1B	0,12	0,20	0,25	0,30
2	0,10	0,15	0,20	0,25
3	0,07	0,10	0,14	0,18

Tableau 2 : Accélération nominale (g)

Sur la carte suivante, nous pouvons observer les différentes zones de sismicité fixées par la réglementation parasismique RPA99 au niveau national [1].

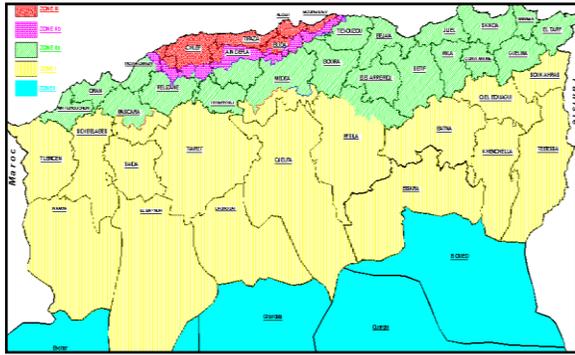


Figure 1. Carte de zonage sismique du territoire national.

3. Action sismique (Spectre de réponse de calcul)

L'action sismique peut se décomposer en une composante horizontale (suivant deux directions principales) et une composante verticale.

L'importance du mouvement vertical est souvent négligeable, car moins dommageable, que le mouvement horizontal.

La composante horizontale de l'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant [1]:

$$S_a/g = \begin{cases} 1.25A \cdot 1 + \frac{T}{T_1} \cdot 2.5\eta \frac{Q}{R} & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25.A) \frac{Q}{R} & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25.A) \frac{Q}{R} \frac{T_2}{T} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(1.25.A) \frac{T_2}{3} \frac{3}{T} \frac{Q}{R} & T > 3.0s \end{cases} \quad (1)$$

4. Méthodologie d'estimation du point de performance

Afin de déterminer le point de performance, nous utilisons la méthode statique non linéaire basée sur la courbe de capacité, qui consiste à comparer la demande avec la capacité sismique. Cette méthode est une analyse pseudo statique non- linéaire simplifiée [2], qui nécessite la définition de la demande sismique, la capacité sismique et le point de performance.

4.1. La représentation spectrale de l'action sismique

Chaque point du spectre de réponse élastique (équation 01), est représenté dans un diagramme $S_a = f(T)$, pour un amortissement de type visqueux [2]. Chaque point $S_{ai} = f(T_i)$, est transformé dans un diagramme $S_a = g(S_d)$, ou (S_d) est le déplacement spectral donné par la relation (2):

$$S_d = \frac{T^2 \times S_a}{4\pi} \quad (2)$$

4.2. La courbe de capacité

La courbe de capacité d'une structure est une représentation graphique, qui relie l'effort tranchant à la base de celle-ci au déplacement du sommet, elle est

obtenue, par un calcul statique non linéaire, appelé analyse ‘Pushover’ [2].

5. Représentation spectrale de la capacité sismique

La représentation spectrale de la capacité sismique est obtenue [3], en multipliant l’effort tranchant et le

déplacement par $\frac{\alpha_1}{w}$ et $\frac{1}{(Pf_1 \cdot \varphi_{1s})}$ respectivement et

les valeurs de (S_a) et (S_d) sont données par :

$$S_a = \frac{V \cdot \alpha_1}{W}, S_d = \frac{\Delta s}{P_{f1} \cdot \varphi_{1s}} \quad (3)$$

5.1. Évaluation du point de performance

Afin de déterminer le point de performance qui correspond à l’égalité entre le déplacement maximum élastique et inélastique, nous avons utilisé la procédure itérative dans laquelle on a superposé les deux courbes spectrales de la capacité et de la demande [4]. L’approche élastique classique, nous permet d’obtenir une première valeur qui est déterminée par l’intersection de la demande spectrale à (5%) d’amortissement avec la tangente à l’origine de la courbe de capacité. La demande sismique à 5% d’amortissement, est affectée par des coefficients de réduction spectraux [5] S_{RA} et S_{RV} tels que :

$$S_{RA} = \frac{3.27 - 0.68 \times \ln(\xi_{eff})}{2.12} \quad (4)$$

$$S_{RV} = \frac{2.31 - 0.41 \times \ln(\xi_{eff})}{1.65} \quad (5)$$

$$\text{avec : } \xi_{eff} = 5 + 63.7 \times K \times \left[\frac{S_{ay1} \times S_{dp1} - S_{dy1} \times S_{ap1}}{S_{ap1} \times S_{dp1}} \right] \quad (6)$$

L’intersection du spectre de la demande avec le spectre de capacité représentée sur la figure 2 définit le deuxième point de l’essai B (S_{ap2}, S_{dp2}).

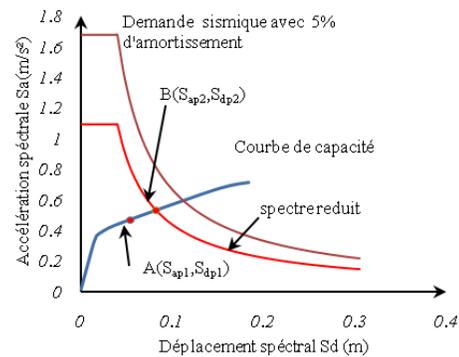


Figure 2. Détermination du deuxième point de performance.

Le deuxième point de performance B (S_{ap2}, S_{dp2}), est comparé en termes de déplacement au premier point de l’essai A (S_{ap1}, S_{dp1}), affecté par un coefficient de 0,07, qui représente la tolérance pour l’estimation du premier point donné par la condition suivante :

$$S_{dp2} \leq 1.07 \times S_{dp1} \quad (7)$$

Si la condition (7) est vérifiée, le deuxième point (B) devient le point de performance. Sinon un nouveau point C (S_{ap3}, S_{dp3}) doit être choisi tel que :

$$\begin{aligned} S_{ap3} &= S_{ap2} + \Delta S_{ap} \\ S_{dp3} &= S_{dp2} + \Delta S_{dp} \end{aligned} \quad (8)$$

Le processus ainsi développé est répété jusqu'à la satisfaction de la condition (7).

5.2. Estimation des dommages sismiques

Nous rappelons que sur la courbe de capacité, la position du point de performance détermine un certain degré de dommage et niveaux d'endommagement [6], à travers la représentation graphique de la capacité sismique (figure 3).

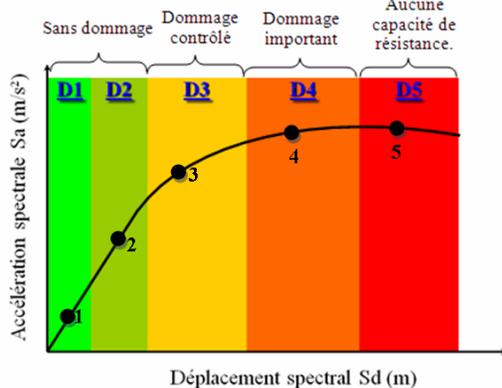


Figure 3. Représentation graphique de l'état d'endommagement des structures en béton armé

6. Application de la méthode Pushover sur une structure en béton armé

La méthode Pushover basée sur l'augmentation de la charge jusqu'à l'apparition des modes de ruine apparaît. Dans cette partie, nous essayons de vérifier la validité de cette méthode qui sera illustrée par un exemple d'une structure auto-stable en béton armé.

6.1. Description de la structure

Il s'agit d'une structure (R+5) en béton armé, dalles en corps creux de 20 cm d'épaisseur, les dimensions

des poutres principales sont de (30×40) cm², les poutres secondaires sont de dimensions (30×35) cm², les poteaux sont de section (30×30) cm² et la hauteur de chaque niveau est de 3.06m.

6.2. Détermination de la courbe 'Pushover' et interprétation des résultats

Nous avons utilisé pour l'obtention de la courbe Pushover le logiciel 'ETABS' non linéaire. Ce logiciel a été développé par « Computers and Structures, Incorporation (CSI) » [7]. Les courbes obtenues sont représentées sur la figure suivante.

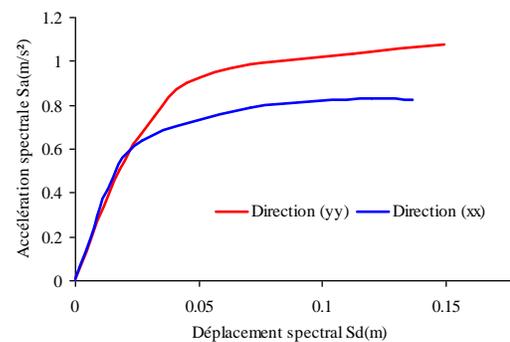


Figure 4. Courbe de capacité suivant les deux directions

Les courbes de capacité (suivant les deux directions) seront devisées en cinq domaines de dommages, et leurs intersections avec la demande spectrale (pour les différentes zones sismiques) après superposition nous donne le point de performance qui circonscrit dans un intervalle qui définit un état d'endommagement de la structure (figure 5 et 6) [8].

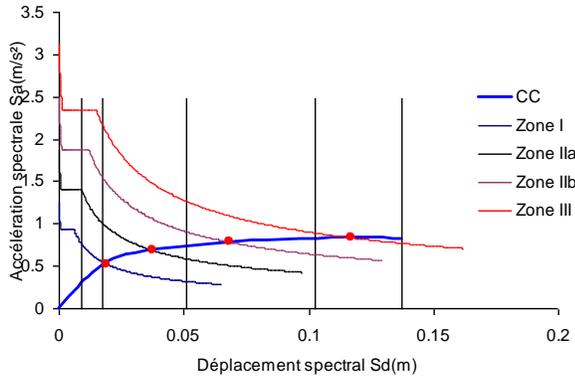


Figure 5. Position du point de performance en fonction des zones sismiques -direction xx-

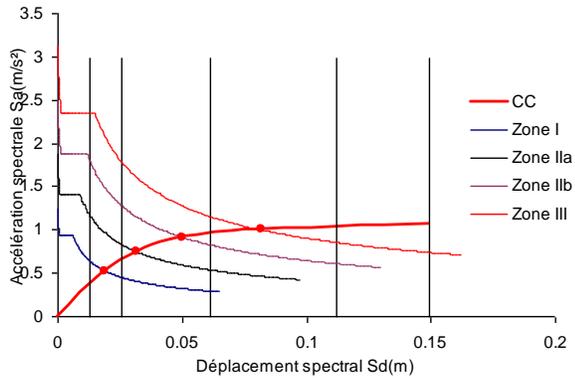


Figure 6. Position du point de performance en fonction des zones sismiques -direction yy-

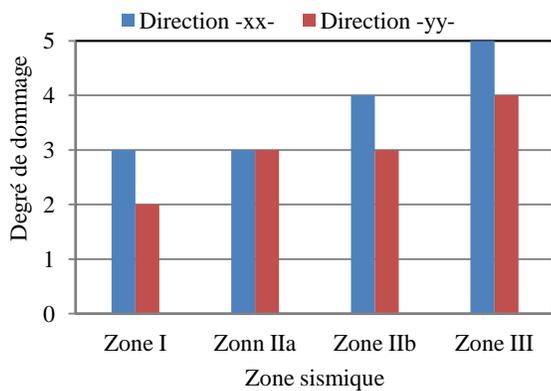


Figure 7. Variation des dommages en fonction de la zone sismique direction (xx)

Selon la figure (7), les degrés de dommages probables sont plus importants pour les zones de sismicité plus élevée qui peut atteindre degré (05) sur l'échelle des dommages (effondrement soit partiel ou total de la structure) pour un déplacement spectral de 0.1170 suivant la direction (xx) (soit 80.40% de $S_{d_{xx}}$) et de 0.1120 suivant la direction (yy) (soit 75.01 % de $S_{d_{yy}}$).

7. Conclusion

Les résultats obtenus permettent une correspondance directe entre la sollicitation sismique et l'endommagement. Les courbes de capacité, que nous avons développées pour le bâti, nous permettent :

- d'évaluer le comportement général face à une sollicitation sismique ;
- de mieux évaluer la plage de réponse de la structure (niveau de performance), en analysant la sensibilité aux différents paramètres interdépendants de l'agression sismique (accélération sismique ou bien la zone sismique) ;
- d'estimer et d'attribuer un degré de dommage pour chaque accélération sismique (pour chaque zone) par le positionnement du point de performance et le partage de la courbe de capacité en cinq domaines de dommage.



8. Bibliographie

- [1] Règlement Parasismique Algérien, Document technique réglementaire DTR BC 248 (Centre national des recherches appliquées en génie parasismique CGS), Algérie, 1999.
- [2] M. Piere: La méthode de performance point (ATC 40). Principe de base et utilisation pratique. Application à un bâtiment existant, 2000.
- [3] Applied Technology Council (ATC), the seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, 2 volumes, Redwood City, CA, 1996.
- [4] A.M. Reinhorn, and R.E. Valles: Damage evaluation in inelastic response of structures, a deterministic approach. Technical Report NCEER-95, state university of New York at Buffalo. États-Unis, 1995
- [5] Federal Emergency Management Agency FEMA 440, Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures, 2004.
- [6] EMS 98 – Échelle macrosismique européenne, sous la direction G. Grünthal, édition française A. Levret, Conseil de l'Europe cahier du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie,
- [7] ETABS user's manuel-Nonlinear, computer and structures, Inc, Berkeley, California, 1999.
- [8] K.Amar.A, H. Mohand, Naceur Eddine H, Estimate of seismic damage-Methodology and application to buildings reinforced concrete- International Review of Civil Engineering (I.R.E.C.E.), June 2010.