

ANALYSE PUSHOVER D'UNE STRUCTURE AUTO STABLE (R+8) PUSHOVER ANALYSIS OF MULTISTORY STRUCTURES

Ourabah A., Hamouche S., Seghir A. et Tahakourt A.

M^r OURABAH Adnane, Magister, Université de Bejaia - Algérie, adnane_ourabah@hotmail.com

M^{elle} HAMOUHE Sabiha, Magister, Université de Bejaia – Algérie, sabiha_hamouche@hotmail.com

M^r SEGHIR A/Ghani ,M.A.A, Université de Bejaia - Algérie, a_seghir@yahoo.fr

M^r TAHAKOURT Abdelkader, Professeur, Université de Bejaia - Algérie, dzkad@yahoo.fr

RESUME :

La recherche parasismique devient de plus en plus indispensable avec la complexité croissante des problèmes à traiter, et qui est un défi permanent pour la recherche. C'est un domaine qui est devenu très délicat, surtout que les tremblements de terre sont de plus en plus intenses et dévastateurs. Ceci est en particulier, dans la détermination des caractéristiques des séismes dans différents sites, et du comportement dynamique des structures et de leurs réponses non linéaires. Le peu d'essais réels à échelles réduites sur la réponse du comportement global, à cause du cout très élevé, induit à un manque d'amélioration du comportement sismique des structures. Ceci étant, sur la base de ces essais, des modèles analytiques du comportement des régions critiques, sont utilisées pour la simulation du comportement global des structures. L'objectif de cette étude est d'étudier le comportement statique non linéaire des structures auto-stables.

Mots clés : Structure, hystérésis, non linéaire, dynamique, pushover, rotule plastique, modélisation

Notations

C	Matrice d'amortissement
C_{vx}	La force latérale
h_i	Hauteur de la base jusqu'au niveau i .
h_x	Hauteur de la base jusqu'au niveau x
K_e	Rigidité latérale effective
K_i	Rigidité latérale élastique
K_y	Rigidité élastique (initiale)
M	La matrice masse
M^* C^* et Q^*	Les propriétés du système à 1DDL équivalent
S_a	L'accélération spectrale
T_0	La période propre fondamentale
T_e	La période fondamentale équivalente de la structure dans la direction considérée
T_i	La période fondamentale qui résulte d'une analyse dynamique élastique
U_m	Déplacement maximum
U_y	Déplacement limite
V_y	La limite élastique calculée à partir du diagramme bilinéaire
W	Poids total de la structure
W_i	Fraction du poids total de la structure assignée au niveau i .
W_x	Fraction du poids total de la structure assignée au niveau x
x_i	Déplacement au sommet de la structure
\ddot{x}	L'accélération sismique
δt	Déplacement cible
Δt	Pas de temps
	Vecteur propre du mode fondamental

1. Introduction

La méthode d'analyse statique non linéaire pushover est une méthode approximative dont laquelle la structure est assujettie à une charge latérale croissante jusqu'à atteindre un déplacement cible.

L'analyse pushover consiste en une série d'analyses élastiques, superposées pour approximer une courbe de capacité ou courbe effort tranchant à la base – déplacement au sommet. [1]

La première étape est d'appliquer la force gravitaire et latérale qui découle d'une loi de comportement du type bilinéaire ou tri-linéaire, la charge latérale est augmentée d'une manière itérative jusqu'à atteindre une première plastification d'un élément (apparition de rotule plastique). En prenant en compte le nouvel état d'équilibre du à la diminution de la raideur, le processus continu jusqu'à avoir un déplacement limite au sommet de la structure ou jusqu'à une instabilité. [5]

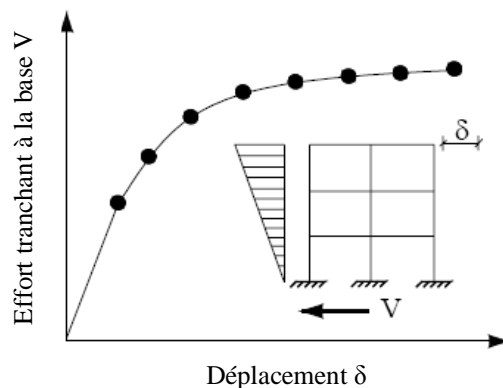


Fig.1 Courbe de capacité (pushover) d'une structure

2. Formulation de l'analyse pushover

L'hypothèse de base de cette méthode et le fait de rapporter les structures 3D ou 2D à un système à un degré de liberté (DDL), basée sur des recherches antérieures (Saiidi et Sozen 1981), qui ont démontrés que le déplacement d'un système à plusieurs degrés de liberté peut être approximativement égal à celui d'un système à un seul degré de liberté quand la réponse dominante est celle du premier mode. [8]

2.1. Mise en équation

Le vecteur de déplacement relatif X peut se mettre sous la forme :

$$X = \{f\} x_i \quad (1)$$

L'équation différentielle du mouvement du système sera donc écrite comme suit :

$$[M] \{\ddot{f}\} + [C] \{\dot{f}\} + Q = -M \{\ddot{I}\} \quad (2)$$

Le déplacement du système à un DDL équivalent, sera donné sous la forme :

$$x^* = \frac{\{f\}^T [M] \{f\}}{\{f\}^T [M] \{f\}} x_i \quad (3)$$

En multipliant l'équation (2) par $\{\Pi\}^T$, et en utilisant l'équation (3), on obtient l'équation différentielle du système équivalent :

$$M^* \ddot{x}^* + C^* \dot{x}^* + Q^* = -M^* \ddot{I} \quad (4)$$

M^* , C^* et Q^* représentent les propriétés du système à 1DDL équivalent, elles sont données par :

$$M^* = \{f\}^T [M] \{f\} \quad (5)$$

$$C^* = \{f\}^T [C] \{f\} \frac{\{f\}^T [M] \{I\}}{\{f\}^T [M] \{f\}} \quad (6)$$

$$Q^* = \{f\}^T Q \quad (7)$$

3. Le déplacement cible

Le but principal de cette méthode est basé sur la demande de la structure par rapport au déplacement, la notion de nœud de control est alors introduite qui est situé au centre de masse du dernier niveau de la structure, qui est la référence nécessaire pour l'exécution et l'interprétation de cette analyse.

Le déplacement cible dépend essentiellement du caractère non linéaire du comportement, il s'écrit sous la forme (FEMA 273) [4] :

$$d_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4p^2} g \quad (8)$$

Avec :

T_e : La période fondamentale équivalente de la structure dans la direction considérée.

La période effective est calculée à partir du diagramme bilinéaire de la loi de comportement (déplacement – effort tranchant)

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (9)$$

K_e : Rigidité latérale effective qui est de l'ordre de 60% de la résistance de plastification.

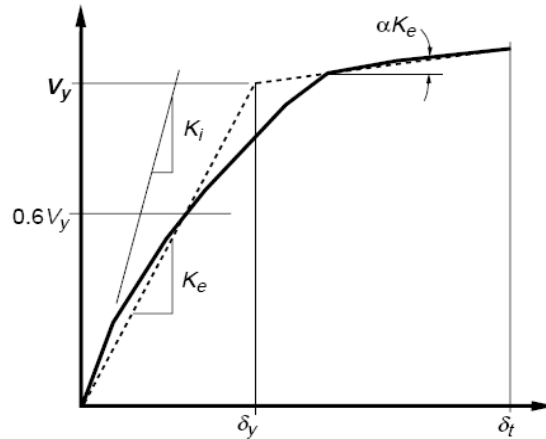


Fig.2 Détermination de la rigidité effective

C_0 : Facteur de modification qui reflète le déplacement spectral et le déplacement d'étage de la structure. Il est calculé selon le tableau suivant :

Tableau 1 : Valeurs du facteur de modification C_0 [4]

Nombre d'étage	Facteur de modification C_0
1	1.0
2	1.2
3	1.3
5	1.4
10 +	1.5
Une interpolation linéaire doit être utilisée pour les valeurs intermédiaires	

C_1 : Facteur de modification du déplacement inélastique calculé à partir du déplacement de la réponse linéaire élastique :

$$C_1 = 1 \text{ Pour } T_e \geq T_0$$

$$C_1 = \frac{1 + (R-1)T_0/T_e}{R} \text{ Pour } T_e < T_0 \quad (10)$$

T_0 : La période propre fondamentale.

R : Le rapport de résistance pour le calcul du facteur de la limite élastique.

$$R = \frac{S_a}{V_y / W C_0} \quad (11)$$

S_a : L'accélération spectrale

V_y : La limite élastique calculée à partir du diagramme bilinéaire.

W : Poids total de la structure.

C_2 : Facteur de modification qui représente l'effet de la courbe d'hystérésis sur le déplacement maximal, qui est fonction du degré de plastification des éléments structuraux.

Tableau 2 : Valeur du facteur de modification C_2 [4]

Niveau de performance des structures	T= 0.1 Sec		T \geq T ₀	
	Type 1	Type 2	Type 1	Type 2
Occupation immédiate	1	1	1	1
Limite de service	1.3	1	1.1	1
Prévention de ruine	1.5	1	1.2	1

1. Les portiques dont lesquels la résistance et la rigidité peuvent être détériorés sous un séisme.

C_3 : Facteur de modification qui prend en compte l'augmentation du déplacement dû à l'effet P- Δ :

$$C_3 = 1 + \frac{\alpha (R-1)^{3/2}}{T_e} \quad (12)$$

α : Le rapport de la rigidité post-élastique et de la rigidité élastique.

4. Distribution de la force latérale

La distribution de la force latérale est un sujet qui diffère de par ses principes dans les codes de calculs (FEMA 273, EC08), pour l'analyse statique non linéaire qui se base sur la relation demande-capacité, la distribution de la force dépend de l'inertie massique et du passage vers un système à un degré de liberté [2].

Dans le code FEMA 273, la force latérale est décrite comme suit :

1- Force latérale équivalente (ELF)

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \quad (13)$$

Avec :

$$k = \begin{cases} 1 & \text{pour } T \leq 0.5 \\ 2 & \text{pour } T \geq 2.5 \end{cases}$$

Une approximation linéaire sera faite pour les valeurs intermédiaires de T.

C_{vx} : La force latérale.

W_i : fraction du poids total de la structure assignée au niveau i .

W_x : fraction du poids total de la structure assignée au niveau x .

h_i : hauteur de la base jusqu'au niveau i .

h_x : hauteur de la base jusqu'au niveau x .

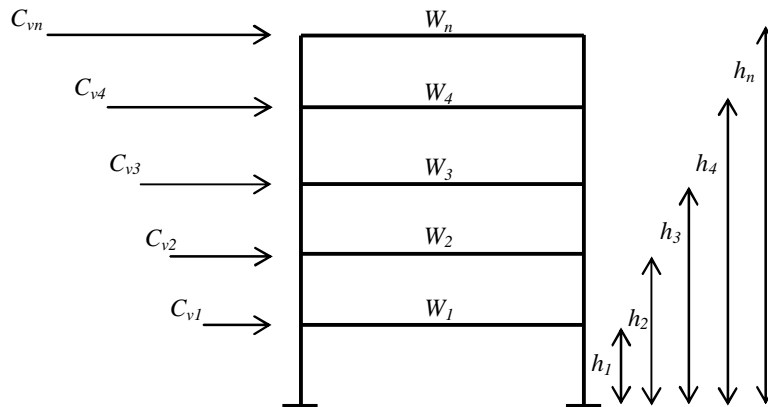


Fig.3 Distribution verticale de la charge latérale selon FEMA 273

2- Distribution uniforme :

Dans cette forme de distribution, la force est égale à la masse du niveau considéré.

$$C_{vx} = m_{vx} \quad (14)$$

3- Distribution par la superposition quadratique (SRSS) :

La distribution est définie par les forces latérales calculées à partir des efforts tranchants par niveaux déterminés par une analyse spectrale, supposée être élastique et linéaire.

5. Application de l'analyse statique non linéaire (pushover)

On se propose d'étudier une structure auto stable de R+8 (fig.4.33et 4.34), ferraillées selon le RPA 2003 avec la méthode spectrale, les voiles sont omis volontairement pour la prise en compte des rotules plastiques. Les caractéristiques géométriques et mécaniques des structures sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Caractéristiques des structures

	R+8
E(Kpa)	32^E6
Poteaux (Cm ²)	1-5 = 50 x 55 6-8 = 50 x 50
Poutre (Cm ²)	40 x 50

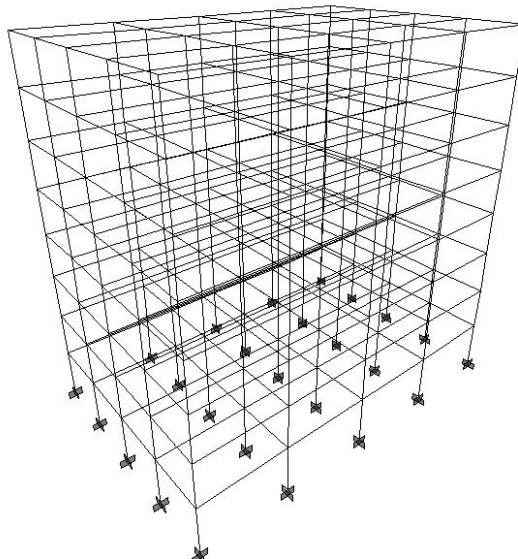


Fig.4 : Structure en R+8

Une analyse statique non linéaire, qui est basée sur le code FEMA 273 est utilisée par le logiciel SAP 2000 [3], qui définit la notion du mode de ruine et de la performance de la structure [7], selon la figure suivante, on peut définir les points suivants :

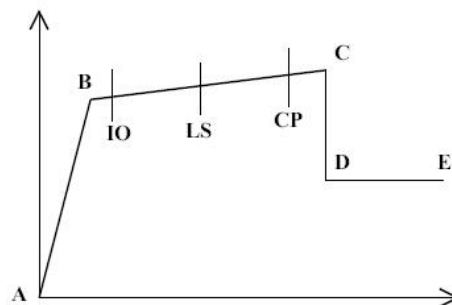


Fig.5 : Courbe Force – Déformation

A : Le point d'origine

B : Représente la plastification, aucune déformation au niveau des rotules, toutes les déformations élastiques sont ignorées.

C : Représente la capacité ultime de l'analyse pushover.

D : Représente la résistance résiduelle de l'analyse.

E : Représente la rupture totale des éléments.

D'autres points additionnels qui n'ont aucun effet sur le comportement de la structure, et qui sont adoptées par les codes de calcul, pour l'appréciation de l'analyse non linéaire statique, et qui sont :

IO : Occupation immédiate.

LS : durée de service.

CP : prévention d'effondrement.

En utilisant la force latérale de la méthode SRSS, on obtient les résultats suivant :

Tableau 4 : Résultats de l'analyse pushover de la structure R+8

Etape	Ux(m)	V Base(Kn)	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	Total
0	0	0	720	0	0	0	0	0	0	720
1	0.008015	941.447	700	20	0	0	0	0	0	720
2	0.009079	1039.943	625	95	0	0	0	0	0	720
3	0.009726	1063.509	605	115	0	0	0	0	0	720
4	0.011164	1082.922	575	145	0	0	0	0	0	720
5	0.019698	1149.664	520	200	0	0	0	0	0	720
6	0.030101	1186.127	495	225	0	0	0	0	0	720
7	0.18392	1272.117	470	95	50	105	0	0	0	720
8	0.200926	1280.439	470	55	90	40	0	65	0	720
9	0.200936	561.421	460	65	90	40	0	0	65	720
10	0.246801	578.058	460	40	115	40	0	0	40	720
11	0.246811	499.526	460	40	115	40	0	0	40	720
12	0.302043	519.563	460	40	90	65	0	0	0	720
13	0.302053	427.272	460	40	90	65	0	0	0	720
14	0.306738	428.972	460	40	90	50	0	15	0	720
15	0.306747	78.745	460	40	90	40	0	0	25	720
16	0.351762	79.116	460	40	90	40	0	0	0	720
17	0.351772	1.136	460	40	90	40	0	0	0	720
18	0.447772	1.927	460	40	90	40	0	0	0	720
19	0.543772	2.719	460	40	90	40	0	0	0	720
20	0.639772	3.511	460	40	90	40	0	0	0	720
21	0.735772	4.302	460	40	90	40	0	0	0	720
22	0.831772	5.094	460	40	90	40	0	0	0	720
23	0.927772	5.885	460	40	90	40	0	0	0	720
24	0.96	6.151	460	40	90	40	0	0	0	720

La courbe pushover est de la forme suivante :

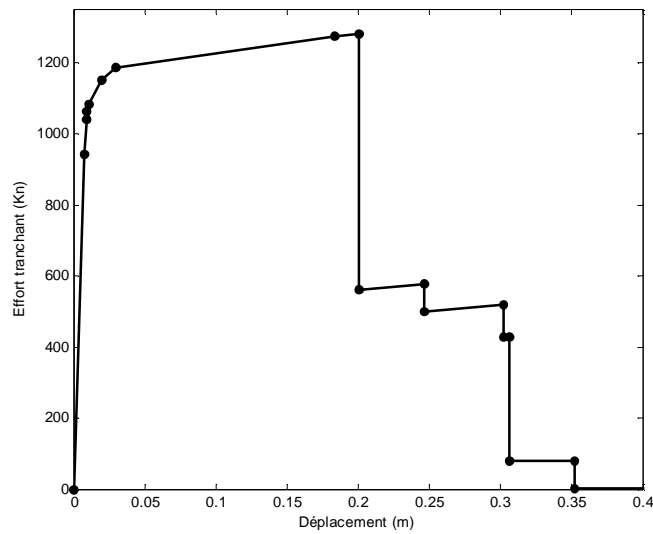


Fig.6: Courbe pushover d'une structure R+8

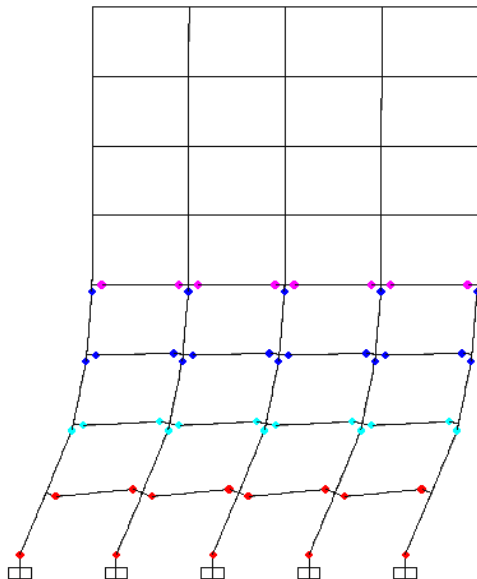


Fig.7 : Formation des rotules plastiques à l'étape 23

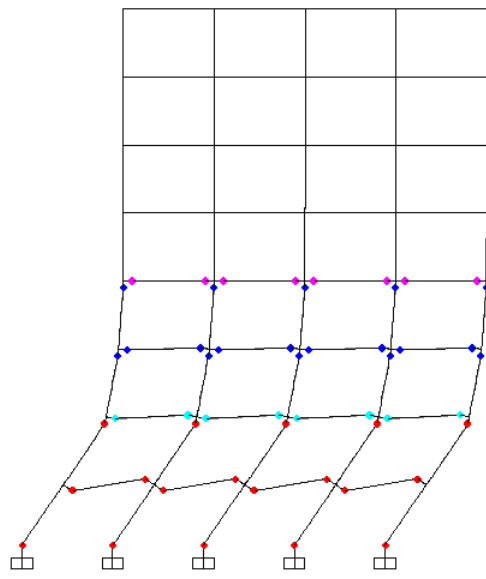


Fig.8 : Formation des rotules plastiques à la dernière étape



6. Conclusion

Une nouvelle méthode de la réponse sismique par un calcul statique non linéaire (pushover), qui est assez récente développée au préalable pour l'expertise des structures existantes et dans le dimensionnement des structures (FEMA, ATC 40, EC08), par son avantage de simplicité de mise en œuvre et qui fait intervenir la notion d'optimisation structurelle qui est basée sur les demandes, capacités et les rotules plastiques.

L'analyse statique non linéaire « pushover » exécutée sur les structures tridimensionnelles auto-stables, nous à fait ressortir les conclusions suivantes :

- L'analyse pushover est une analyse statique non linéaire itérative, basée sur un système de résolution linéaire des équations.

- La prise en compte des phénomènes non linéaires qui sont localisés aux extrémités des éléments (rotules plastique), en se basant sur le modèle de Giberson 1967 [6].
- La prise en compte de l'interaction effort tranchant-moment de flexion dans la définition des rotules plastiques.
- L'analyse pushover, permet d'avoir une idée sur le processus d'endommagement, et ainsi de déterminer les zones critiques.
- Le choix de la méthode de détermination de la force latérale [2], est influencé par la participation modale des modes supérieurs, qui est l'hypothèse de base de cette analyse.
- A partir de cette analyse, on confirme les conditions du RPA2003 dans la prise en compte des voiles dans les structures.

Références bibliographiques

- [1]: A.Boumekik « Analyse pushover des structures en béton armé ». Projet de recherche, université de Batna.2006
- [2]: A.K .Chopra, R.K .Goel « A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimating Seismic Demands for Buildings: Theory and Preliminary Evaluation ». PEER Report 2001/03,Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley
- [3]: Computers and Structures Inc « CSI analysis reference manual for SAP2000 ». Berkeley, California. 1998.
- [4]: FEMA273 Federal Emergency Management Agency. « NEHRP recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures ». Chapitre3, Washington, D.C.
- [5]: K. Hamou, K.Ramdane « Etablissement de la courbe de fragilité par la méthode pushover ». 7ème Colloque National AFPS 2007 – Ecole Centrale Paris.
- [6]: M.Giberson « The response of nonlinear multi-story structures subjected to earthquake excitation », Thèse de PHD, Institut technologique de Californie, Pasadena, Californie 1967.
- [7]: M.Menjivar « 3D pushover of irregular reinforced concrete buildings». Thèse de masters, université de Pavia, Septembre 2003.
- [8]: S. Oguz « Evaluation of pushover analysis procedures for frame structures». These de masters. Middle East technical university. 2005