

CHAPITRE 4

EVALUATION DES PERFORMANCES DES CONSTRUCTIONS PAR UTILISATION LES METHODES PUSHOVER

4.1. Introduction

Après la détermination et l'évaluation des courbes de capacité de modèles, la question posée est la suivante : cette capacité peut elle satisfaire la demande sismique ? Par un autre sens est ce que la résistance et la ductilité des modèles seront-elles suffisantes pour le non effondrement de ces modèles?.

Pour répondre à ces questions, il est impératif d'évaluer le déplacement maximal prévisionnel de ces modèles sous un mouvement terrestre défini, et à partir de là l'évaluation de la performance de ces modèles. Pour cela, nous utilisons les méthodes push-over cités dans le premier chapitre : la méthode du spectre de capacité ATC- 40, la méthode du coefficient de déplacement FEMA -273, la méthode N2 (EC8). Et ce la pour la maîtrise des techniques de ces méthodes et la comparaison de leurs résultats. La méthode du spectre de capacité est intégrée dans le programme SAP2000, alors que les autres méthodes étant inexistantes dans ce programme, elles doivent être calculées. Le mouvement terrestre est représenté par la courbe du spectre de réponse et qui représente la demande sismique.

4.2. Le point de performance

A partir de la courbe de capacité, il devient alors intéressant de comparer celle-ci avec la sollicitation d'un séisme, la courbe de capacité dans cette partie est obtenue par l'utilisation de l'analyse pushover utilisant le mode de chargement du code, car les résultats de ce mode étaient les plus proches des résultats exacts selon le chapitre précédent.

Pour considérer la demande d'un séisme, on utilise en général des courbes <<spectre d'accélération S_a , -spectre de déplacement S_d >>.

Plusieurs méthodes d'assemblage des deux courbes sont appliquées l'Euro Code 8 [18] par exemple, permet de trouver un point de performance sur la base de la règle des déplacements égaux. Les normes américaines, par contre prévoient des itérations avec plusieurs spectres représentant différents coefficients d'amortissement visqueux. Dans les

deux cas, on trouve ce qu'on appelle un point de performance qui permet de faire plusieurs considérations sur le comportement de la structure face au séisme. En principe ce point devrait correspondre avec le déplacement maximal qu'on obtiendrait par la méthode non linéaire dynamique temporelle.

Dans la méthode du spectre de capacité, le programme SAP2000[15] travaille sur les principes des normes américaines pour l'obtention du point de performance, pour cela, il devient obligatoire l'application des coefficients de calibrage C_a et C_v , pour se conformer à l'allure des spectres américains. Pour cela, dans notre étude, nous procéderons à la détermination du point de performance de deux modèles (5-1), (5-2), en utilisant les spectres américains pour la maîtrise exacte des techniques des méthodes pushover en la considérant en majorité des méthodes américaines. Suite à cela, nous déterminons le point de performance de tous les modèles par l'utilisation du spectre de réponse du code algérien RPA2003 [47].

4.3. La détermination du point de performance par l'utilisation des spectres de réponse américains d'UBC 97 [57]

Le spectre de réponse utilisé dans ce chapitre pour la représentation de la courbe de demande sismique est basé sur le spectre de réponse de conception élastique d'UBC 97 [57]. Ce spectre est créé par l'utilisation des coefficients C_a et C_v , qui se basent sur la sismicité de la zone et le type de sol de l'endroit.

Le spectre de réponse est représenté dans la figure suivante :

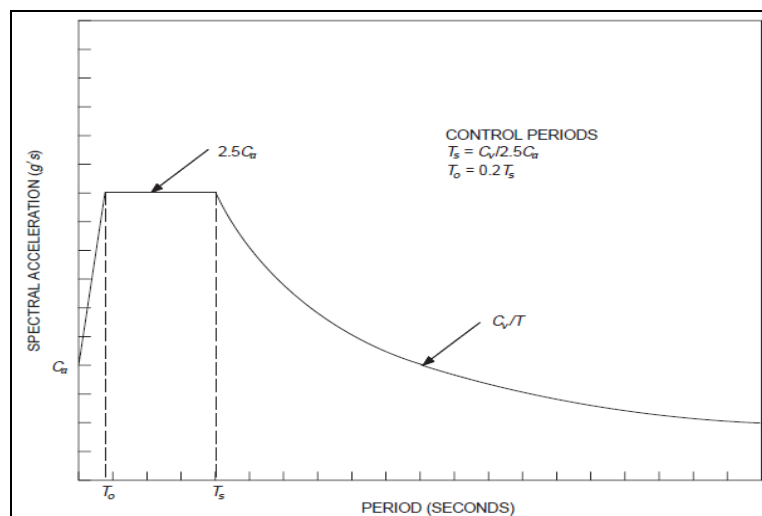


Figure 4-1 : Spectre de réponse élastique de conception d'UBC 97

Ce spectre est défini par les relations suivantes:

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} \left(\frac{18.75 C_a^2}{C_v} \right) T + C_a & \text{pour } T < 0.08 \frac{C_v}{C_a} \\ 2.5 C_a & \text{pour } 0.08 \frac{C_v}{C_a} \leq T \leq \frac{C_v}{2.5 C_a} \\ \frac{C_v}{T} & \text{pour } T \geq \frac{C_v}{2.5 C_a} \end{cases}$$

Dans cet alinéa, nous choisissons trois types de séismes pour essayer de comparer leurs effets sur le comportements des deux modèles (5-1) et (5-2), et pour la prévision le point de performance des deux modèles pour chaque séisme, au moyen des trois méthodes pushover.

Les types de séismes sont :

- Les séismes de faibles magnitudes.
- Les séismes de magnitudes moyennes.
- Les séismes de fortes magnitudes.

4.3.1. Les séismes de faibles magnitudes

Nous réajustons les deux coefficients C_a et C_v comme sur la figure (1-4) en conformité avec le type de sol et la classification de la zone sismique comme illustré dans UBC 97, les valeurs des deux coefficients sont : ($C_a = 0.12$, $C_v = 0.18$) et ($T_0 = 0.1$, $T_g = 0.6$).

4.3.1.1. La détermination du point de performance du modèle (5-1)

nous utilisons les méthodes pushover cités dans le premier chapitre :

4.3.1.1.1. La méthode du coefficient de déplacement (FEMA -273[24])

Le déplacement cible δ_t au point de contrôle est déterminé par l'équation citée au premier chapitre (1,49):

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_a^2}{4\pi^2} g$$

Premièrement, pour la détermination la période fondamentale effective T_e , il faut revenir à la courbe pushover du modèles (5-1) et la figure montrant la modalité de calcul la rigidité effective de FEMA- 273 [24], la figure (1-17), ce qui est démontré sur la figure (2-4).

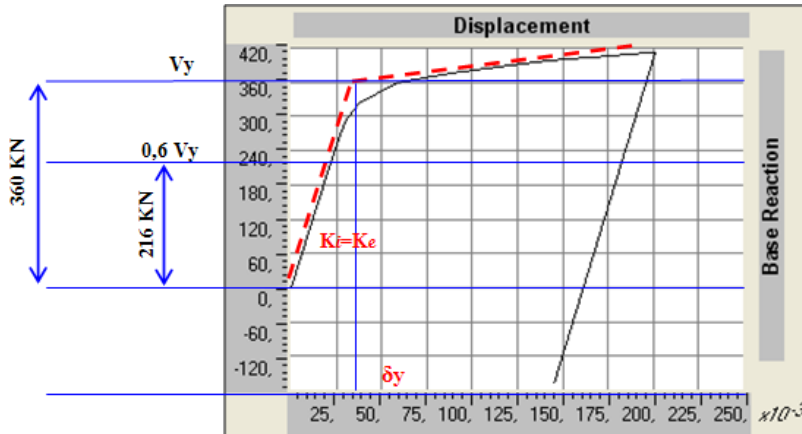


Figure 4-2 : Courbe pushover bilinéaire du modèle 5-1

La courbe pushover bilinéaire du modèles (5-1) montre que la rigidité latérale élastique de ce modèle est conforme à la rigidité effective K_e et delà la période fondamentale effective T_e est égale à la période fondamentale élastique T_1 et partant les paramètres de l'équation (1,49) sont déterminés comme suit :

$$T_e = T_1 = 0.7017 \text{ sec.}$$

$$C_0 = 1.4 \quad \text{Voir tableau 1-1.}$$

$$C_1 = 1 \quad \text{Parce que } T_e \geq T_1$$

$$T_e = 0.6 \quad \text{Déterminé du spectre de réponse de ce cas}$$

$$C_2 = 1.1 \quad \text{Suivant le tableau de l'annexe A, nous choisissons le portique type 1 et la Performance LS}$$

$$C_3 = 1 \quad \text{La rigidité après la plastification est positive}$$

$$S_a = \frac{C_v}{T} = \frac{0.18}{T_e} = 0.256$$

Ainsi le calcul du déplacement cible δ_t sera ainsi :

$$\delta_t = 1.4 \times 1 \times 1.1 \times 1 \times 0.256 \frac{(0.7017)^2}{4\pi^2} g$$

$$\delta_t = 0.048 \text{ m}$$

4.3.1.1.2. Méthodes N2 (EC8 [18])

Pour la détermination du point de performance suivant la méthode Eurocode8 [18], nous suivrons les étapes suivantes, comme cité dans le premier chapitre et l'annexe A:

- Transformation en un système équivalent à un seul degré de liberté

La masse d'un système équivalent à un seul degré de liberté, m^* est déterminée comme suit:

$$m^* = \sum m_i \Phi_i = 41.175(0.19 + 0.46 + 0.71 + 0.90) + 35.025(1)$$

$$m^* = 128.08 \text{ T}$$

Le coefficient de transformation est donné par :

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{128.08}{41.175(0.19^2 + 0.46^2 + 0.71^2 + 0.90^2) + 35.025(1)^2}$$

$$\Gamma = 1.295$$

- Détermination de la période du système équivalent à un seul degré de liberté

La période T est déterminée par :

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* d_y^*}{F_y^*}}$$

$$\text{L'effort plastique : } F_y^* = \frac{V_y}{\Gamma} = \frac{360}{1.295} = 278 \text{ KN}$$

$$\text{Le déplacement à la limite de l'élasticité : } d_y^* = \frac{\delta_y}{\Gamma} = \frac{0.0375}{1.295} = 0.029 \text{ KN}$$

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{128.08 \times 0.029}{278}} = 0.726 \text{ sec}$$

- Détermination du déplacement cible pour le système équivalent à un seul degré de liberté

$$d_{st}^* = S_g(T^*) \left[\frac{T^*}{2\pi} \right]^2$$

$$\frac{S_g(T^*)}{g} = \frac{C_V}{T^*} = \frac{0.18}{0.726} = 0.248$$

$$d_{st}^* = 0.248 \times 9.81 \left[\frac{0.7261}{2\pi} \right]^2 = 0.039 \text{ m}$$

Si $T^* \geq T_g \Rightarrow d_t^* = d_{st}^*$ (Domaine des périodes moyennes et longues)

Alors

$$d_t^* = d_{st}^* = 0.039 \text{ m}$$

- Le déplacement cible du système à plusieurs degrés de liberté donné par

$$d_t = \Gamma d_t^* = 0.039 \times 1.295$$

$$d_t = \delta_t = 0.042 \text{ m}$$

4.3.1.1.3. Méthode du spectre de capacité

Le programme SAP2000 aide et facilite l'exécution de cette méthode, il donne le point de performance directement, il suffit d'introduire les coefficients C_a et C_v , la figure (3-4) illustre la courbe pushover dans le format ADRS (Accélération Displacement Response Spectrum). Le programme SAP2000 transforme la courbe pushover (force-déplacement) au format ADRS par la transformation du effort tranchant à la base résultant à une accélération spectrale S_a et le déplacement en un déplacement spectral S_d par l'utilisation de deux équations (1,21) et (1,22) citées dans le premier chapitre, les spectres de réponse apparaissant sur la figure est aussi dans le format ADRS.

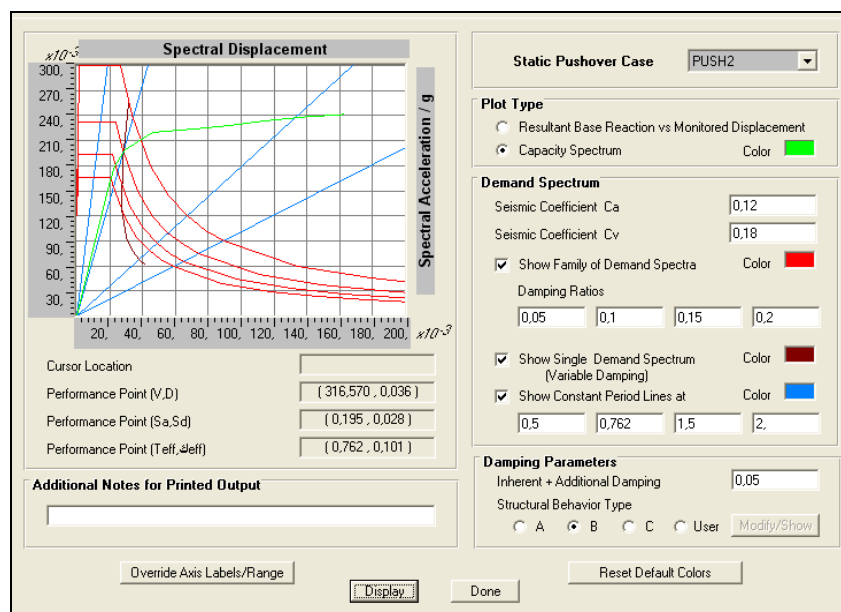


Figure 4-3 : Détermination du point de performance du modèle 5-1 selon SAP2000 (Séisme de faible magnitude)

Suivant la figure, le déplacement cible est égal à $\delta_c = 0.036 \text{ m}$ et qui correspond à un effort tranchant à la base de valeur 316,570 Kn.

Après notre exécution des trois méthodes, nous observons que la grande valeur du déplacement cible est celle obtenue au moyen de la méthode du coefficient de déplacement FEMA-273[24] qui est 0.048 m, nous constatons que cette valeur compatible avec le 5ème pas dans le tableau du spectre de capacité (la figure 4-4) où le déplacement atteint $\delta_c = 0,0583 \text{ m}$, cette valeur correspond à l'évènement B qui indique la non existence de tout dommage des éléments structurels et non structurels et s'il existe, celui-ci est mineur.

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0,0000	0,0000	50	0	0	0	0	0	0	0	50
1	0,0201	200,5564	50	0	0	0	0	0	0	0	50
2	0,0261	260,4593	49	1	0	0	0	0	0	0	50
3	0,0297	289,3791	44	6	0	0	0	0	0	0	50
4	0,0379	323,4387	40	10	0	0	0	0	0	0	50
5	0,0583	359,0924	35	15	0	0	0	0	0	0	50
6	0,0886	376,5664	33	6	11	0	0	0	0	0	50
7	0,1148	387,1292	30	8	12	0	0	0	0	0	50
8	0,1415	396,6671	28	7	5	10	0	0	0	0	50
9	0,1769	407,1635	25	10	4	11	0	0	0	0	50
10	0,1970	410,4533	25	8	5	12	0	0	0	0	50

Figure 4-4 : Tableau du spectre de capacité du modèle 5-1

Ceci est confirmé par l'observation de la distribution des rotules plastiques comme illustré dans la figure (4-5) où les rotules dans les poutres et les poteaux du niveau un sont plastifiées lors de l'évènement B.

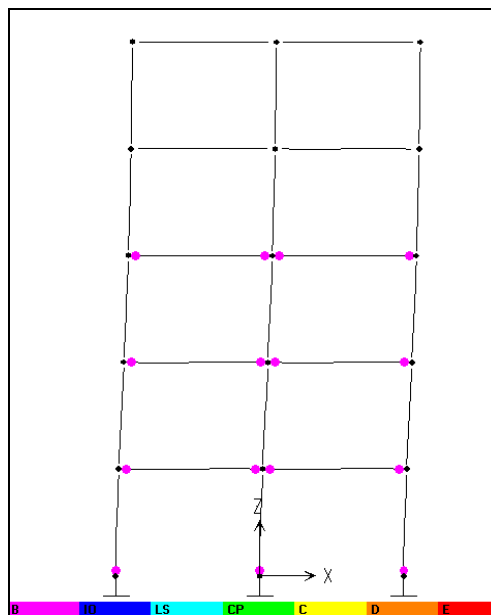


Figure 4-5 : Distribution des rotules plastiques du modèle 5-1, 5ème pas

4.3.1.2. La détermination du point de performance du modèle (5-2)

nous utilisons les méthodes pushover cités précédents:

4.3.1.2.1. La méthode du coefficient de déplacement FEMA-273 [24]

Le déplacement cible δ_t au point de contrôle est déterminé par l'équation (1,49)

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_g^2}{4\pi^2} g$$

Comme cité précédemment, pour la détermination de la période fondamentale effective T_g , il impératif de revenir à la courbe pushover du modèle (5-2) et la figure qui illustre la modalité de calcul de la rigidité effective K_g pour FEMA-273 [24] la figure (1-17), ceci est illustré dans la figure (4-6).

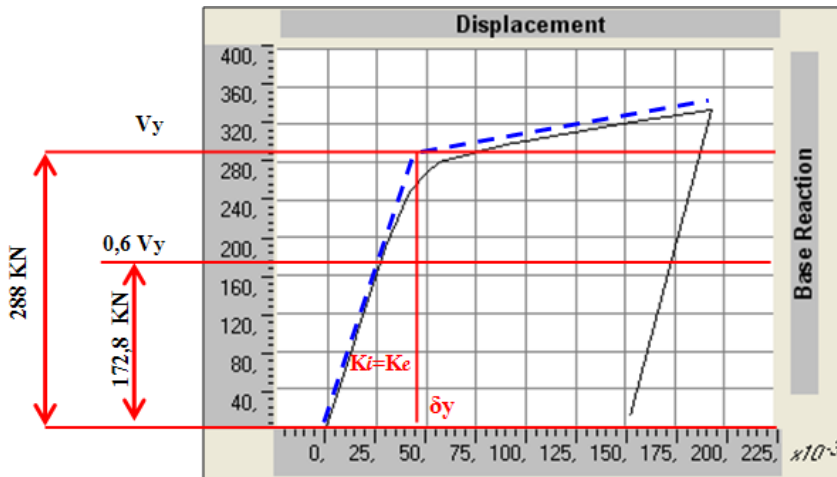


Figure 4-6: Courbe pushover bilinéaire du modèle 5-2

La courbe pushover bilinéaire pour le modèle (5-2) fait apparaître que la rigidité latérale élastique pour ce modèle est conforme avec la rigidité effective K_g , à partir duquel la période fondamentale effective T_g est équivalente à la période fondamentale élastique T_i ,

Alors $T_g = T_i = 0.9367$ sec

Le restes des coefficients sont les mêmes qu'au modèles (5-1).

$$C_0 = 1.4 \quad , \quad C_1 = 1 \quad , \quad C_2 = 1.1 \quad , \quad C_3 = 1$$

$$S_a = \frac{C_v}{T} = \frac{0.18}{0.9367} = 0.192$$

$$\delta_t = 1.4 \times 1 \times 1.1 \times 1 \times 0.192 \times \frac{(0.9367)^2}{4\pi^2} \times 9.81$$

$$\delta_t = 0.064 \text{ m}$$

4.3.1.2.2. Méthodes N2 (EC8 [18])

Pour la détermination du point de performance par la méthode EC8 [24], nous suivons les étapes suivantes, comme cité précédemment.

- Transformation en un système équivalent à un seul degré de liberté

La masse d'un système équivalent à un seul degré de liberté m^* est déterminée comme suit

$$m^* = \sum m_i \Phi_i^2 = 44.05(0.44)^2 + 41.175(0.65^2 + 0.82^2 + 0.93^2) + 35.025(1)^2$$

$$m^* = 153.22 \text{ T}$$

Le coefficient de transformation est donné par

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2} = \frac{153.22}{44.05(0.44)^2 + 41.175((0.65)^2 + (0.82)^2 + (0.93)^2) + 35.025(1)^2}$$

$$\Gamma = 1.235$$

- Détermination de la période du système équivalent à un seul degré de liberté

La période T^* est déterminée par

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* d_y^*}{F_y^*}}$$

L'effort plastique : $F_y^* = \frac{V_y}{\Gamma} = \frac{288}{1.235} = 233.19 \text{ KN}$

Déplacement à la limite d'élasticité : $d_y^* = \frac{\delta_y}{\Gamma} = \frac{0.045}{1.235} = 0.036 \text{ KN}$

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{153.22 \times 0.036}{233.19}} = 0.966 \text{ sec}$$

V_y Et δ_y est extraite de la figure (4-7).

- Détermination du déplacement cible pour le système équivalent à un seul degré de liberté

$$d_{st}^* = S_e(T^*) \left[\frac{T^*}{2\pi} \right]^2$$

$$\frac{S_e(T^*)}{g} = \frac{C_v}{T^*} = \frac{0.18}{0.966} = 0.186$$

$$d_{st}^* = 0.186 \times 9.81 \left[\frac{0.966}{2\pi} \right]^2 = 0.043 \text{ m}$$

$$T^* = 0.966 > T_s = 0.6 \Rightarrow d_t^* = d_{st}^*$$

$$d_t^* = 0.043 \text{ m}$$

- Le déplacement cible du système à plusieurs degrés de liberté est donné par

$$d_t = \Gamma d_t^* = 1.235 \times 0.043$$

$$d_t = \delta_t = 0.053 \text{ m}$$

4.3.1.2.3. Méthode du spectre de capacité

Comme, nous l'avons cité précédemment, cette méthode est intégrée dans le programme SAP2000, il suffit d'introduire les deux facteurs C_a , C_v appropriés, le programme se charge d'exécuter les calculs en totalité. La figure (4-7) clarifie la courbe pushover additivement aux spectres de réponse dans le format ADRS; pour les données $C_a = 0.12$, et $C_v = 0.18$

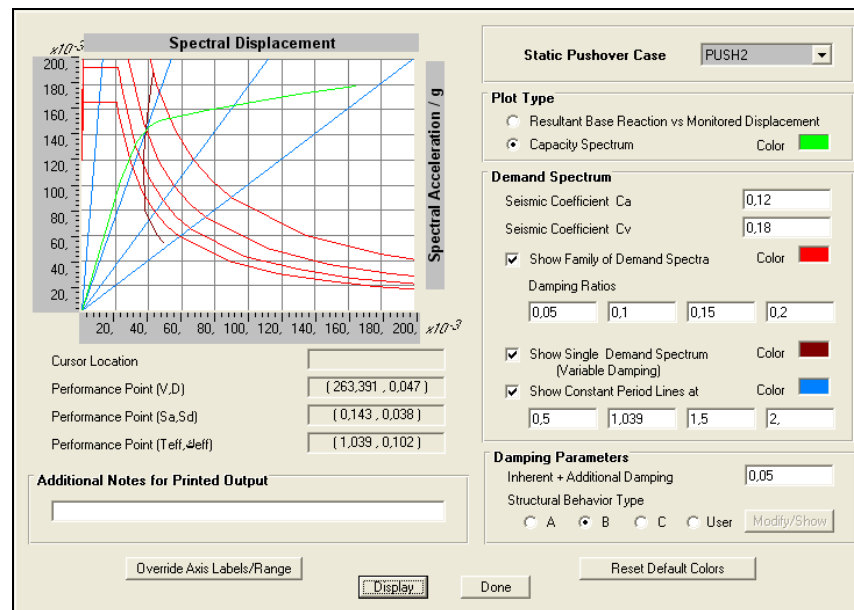


Figure 4-7 : Détermination du point de performance du modèle 5-2 selon SAP2000 (Séisme de faible magnitude)

Selon la figure le déplacement cible est égal à $\delta_t = 0.047 \text{ m}$ qui correspond à un effort tranchant à la base de valeur 263,391 Kn.

Après l'exécution des trois méthodes, nous constatons que la valeur maximale du déplacement cible est celle obtenue par la méthode du coefficient de déplacement FEMA- 273 [24] ,elle est $\delta_E=0.064$ m, nous observons que cette valeur est compatible avec le 5ème pas dans le tableau du spectre de capacité du modèle (5-2), figure (4-8), où le déplacement atteint $\delta_E=0.0893$ m, cette valeur correspond à l'événement IO qui indique que les dommages sont limités, et la conception est juste et la structure garde à peu près la résistance et la rigidité qu'il possédait avant le séisme. La structure sera utilisée pour but pour lequel il a été conçu.

Step	Displacement	Base Force	R-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	-1,210E-04	0,0000	50	0	0	0	0	0	0	0	50
1	0,0291	189,6254	49	1	0	0	0	0	0	0	50
2	0,0411	248,3210	44	6	0	0	0	0	0	0	50
3	0,0498	270,0118	41	9	0	0	0	0	0	0	50
4	0,0561	279,7290	39	11	0	0	0	0	0	0	50
5	0,0893	298,4957	36	8	6	0	0	0	0	0	50
6	0,1530	323,1803	33	6	4	7	0	0	0	0	50
7	0,1879	333,9682	29	9	4	8	0	0	0	0	50
8	0,1940	335,4998	28	10	3	8	0	1	0	0	50
9	0,1526	10,9543	28	10	3	6	0	1	1	1	50

Figure 4-8 : Tableau du spectre de capacité du modèle 5-2

Ceci est confirmé par l'observation de la distribution des rotules plastiques, comme illustré dans la figure (4-9), où les rotules sont plastifiées à l'événement IO, au niveau des poteaux, près des appuis et dans les poutres du niveau un. Les autres éléments plastifiés, ils sont plastifiés à l'événement B.

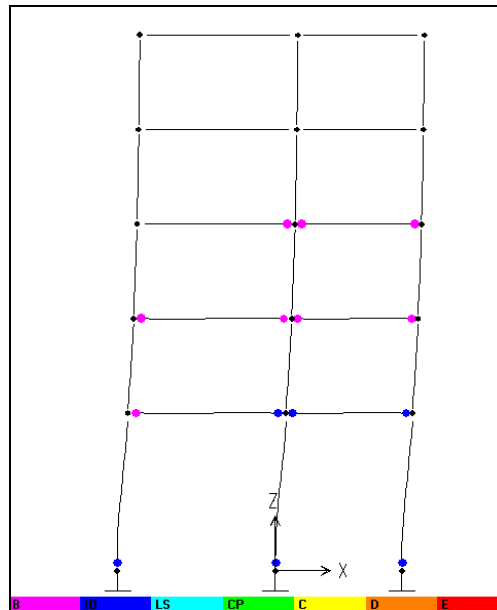


Figure 4-9 : Distribution des rotules plastiques du modèle 5-2, 5ème pas

Finalement, nous constatons que le degré des dommages dans le modèles (5-2) est supérieur à celui du modèle (5-1), mais acceptable dans les deux cas, la performance des deux modèles est acceptable et la conception juste dans le cas de l'exposition de ces modèles à un séisme de faible magnitude.

4.3.2. Les séismes de magnitudes moyennes

Dans cet alinéa, pour la détermination du point de performance des modèles (5-1) et (5-2) sous un séisme de moyenne magnitude, nous commencerons par un réajustement des deux coefficients C_a , C_v comme dans la figure (4-1) en correspondance avec le type de sol et la classification de la zone sismique comme illustré dans l'UBC97[57] , les valeurs des deux coefficients dans ce cas sont : $C_a = 0.28$, $C_v = 0.4$ Additivement à $T_0 = 0.1142$, $T_g = 0.571$.

4.3.2.1. Détermination du point de performance du modèle (5-1)

nous utilisons les méthodes pushover cités précédent:

4.3.2.1.1. La méthode du coefficient de déplacement FEMA-273 [24]

Le déplacement cible δ_t au point de contrôle est déterminé par la relation suivante (l'équation 1,49)

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_g^2}{4\pi^2} g$$

Tous les paramètres du modèle (5-1) sont déterminés dans le cas précédent, soit lors de séismes à faible magnitude, comme suit :

$$T_g = T_i = 0.7107 \text{ sec} , C_0 = 1.4 , C_1 = 1 , C_2 = 1.1 , C_3 = 1$$

Il reste juste à déterminer la valeur d'accélération du spectre de réponse dans la période fondamentale effective T_g , et delà :

$$S_a = \frac{C_v}{T} = \frac{0.4}{0.7107} = 0.570$$

Et ainsi le calcul du déplacement cible sera comme suit :

$$\delta_z = 1.4 \times 1 \times 1.1 \times 1 \times 0.570 \times \frac{(0.7017)^2}{4\pi^2} \times 9.81$$

$$\delta_z = 0.11 \text{ m}$$

4.3.2.1.2. Méthodes N2 (EC8 [18])

Les paramètres m^* , Γ , T^* du modèles (5-1) sont déterminés dans le cas des séismes de faible magnitude, il suffit de trouver l'accélération du spectre de réponse lors de la période du système équivalent à un seul degré de liberté T^* .

Et delà :

$$\frac{S_g(T^*)}{g} = \frac{C_V}{T^*} = \frac{0.4}{0.726} = 0.551$$

$$d_{gt}^* = 0.551 \times 9.81 \left[\frac{0.726}{2\pi} \right]^2 = 0.072 \text{ m}$$

Nous avons $T^* = 0.726 > T_s = 0.571$ alors :

$$d_z^* = d_{gt}^* \Rightarrow d_z^* = 0.072 \text{ m}$$

Et delà, le déplacement cible du modèle (5-1) est :

$$d_z = \Gamma d_z^* = 1.295 \times 0.072$$

$$d_z = \delta_z = 0.093 \text{ m}$$

4.3.2.1.3. Méthode du spectre de capacité

Dans ce cas, nous introduisons dans le programme SAP2000, les données suivantes :

$C_a = 0.28$, $C_v = 0.4$, la figure (4-10) nous clarifie la courbe pushover et les spectres de réponse dans le format ADRS de ces données.

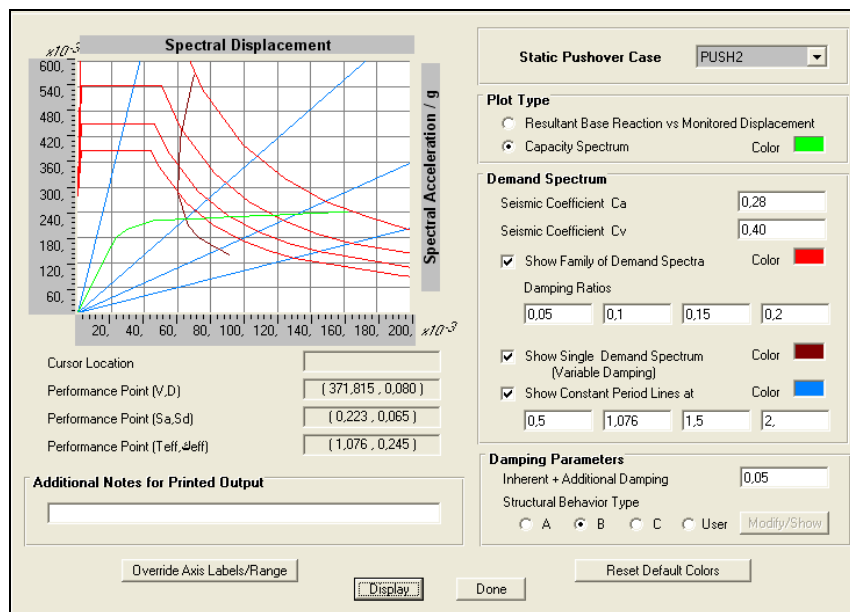


Figure 4-10 : Détermination du point de performance du modèle 5-1 selon SAP2000 (Séisme de magnitude moyenne)

Conformément à la figure, le déplacement cible est égal à $\delta_c = 0,080$ m qui correspond à un effort tranchant à la base de valeur 371,815 Kn.

Après l'application des trois méthodes, nous constatons que la valeur maximale du déplacement cible est celle obtenue par la méthode du coefficient de déplacement FEMA -273 [24] qui est $\delta_c = 0,11$ m, nous constatons que cette valeur correspond au 7^{ème} pas dans le tableau du spectre de capacité du modèles (5-1), figure (4-4), où le déplacement atteint $\delta_c = 0,1148$ m, cette valeur correspond à l'événement IO qui indique que les dommages sont limités est la conception juste, le modèle conserve à peu près la résistance et la rigidité qu'il possédait avant le séisme. La structure continue à être utilisée pour le but auquel elle a été conçue.

Ceci est confirmé par la constatation de la distribution des rotules plastiques comme illustré dans la figure (4-11), où les rotules sont plastifiées à l'événement IO au niveau des poteaux, près des appuis du niveau un additivement aux poutres des niveaux un et deux, les autres éléments plastifiés, sont plastifiés à l'événement B.

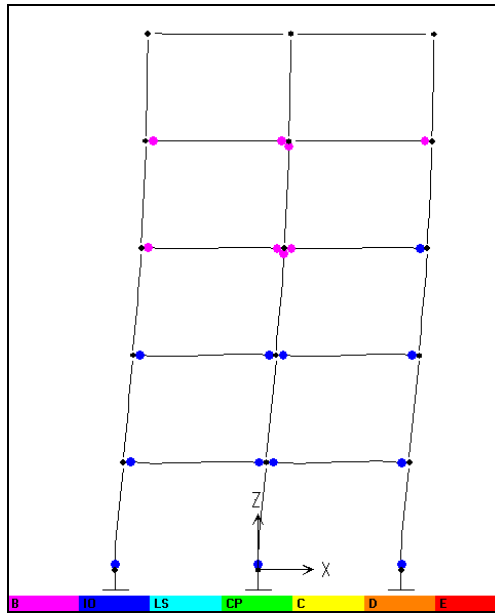


Figure 4-11 : Distribution des rotules plastiques du modèle 5-1, 7ème pas

4.3.2.2. Détermination du point de performance du modèle (5-2)

nous utilisons les méthodes pushover cités précédent:

4.3.2.2.1. Méthode du coefficient de déplacement FEMA-273 [24]

Le déplacement cible δ_c au point de contrôle, est déterminé par la relation suivante (l'équation 1,49) :

$$\delta_c = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$$

La totalité des paramètres du modèle (5-2) est déterminée dans le cas précédent, soit dans les séismes de faible magnitude, ainsi :

$$T_e = T_i = 0.9367 \text{ sec} \quad C_0 = 1.4 \quad , \quad C_1 = 1 \quad , \quad C_2 = 1.1 \quad , \quad C_3 = 1$$

Il reste seulement à déterminer la valeur d'accélération du spectre de réponse lors de la période fondamentale effective T_e , et delà :

$$S_a = \frac{C_v}{T} = \frac{0.4}{0.9367} = 0.427$$

Et ainsi, le calcul du déplacement cible sera comme suit :

$$\delta_c = 1.4 \times 1 \times 1.1 \times 1 \times 0.427 \times \frac{(0.9367)^2}{4\pi^2} \times 9.81$$

$$\delta_c = 0.143m$$

4.3.2.2.2. Méthodes N2 (EC8 [18])

Les paramètres m^* , Γ , T^* du modèles (5-2) sont déterminés dans le cas des séismes de faible magnitude, il suffit de trouver l'accélération du spectre de réponse lors de la période du système équivalent à un seul degré de liberté T^* .

$$\frac{S_s(T^*)}{g} = \frac{C_v}{T^*} = \frac{0.4}{0.966} = 0.414$$

$$d_{st}^* = 0.414 \times 9.81 \left[\frac{0.966}{2\pi} \right]^2 = 0.096 \text{ m}$$

Nous avons $T^* = 0.966 > T_s = 0.571$ alors :

$$d_t^* = d_{st}^* \Rightarrow d_t^* = 0.096 \text{ m}$$

Et delà, le déplacement cible du modèle (5-1) est :

$$d_t = \Gamma d_t^* = 1.235 \times 0.096$$

$$d_t = \delta_t = 0.12 \text{ m}$$

4.3.2.2.3. Méthode du spectre de capacité

Dans ce cas, nous introduisons dans le programme SAP2000 les données suivantes :

$C_a = 0.28$, $C_v = 0.4$, la figure (4-12) illustre la courbe pushover et les spectres de réponse dans le format ADRS de ces données.

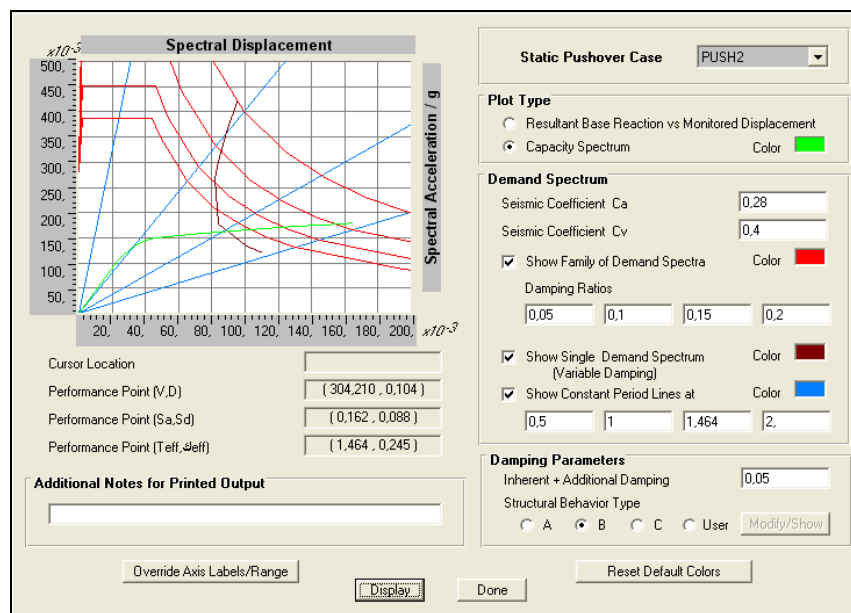


Figure 4-12: Détermination du point de performance du modèle 5-2 selon SAP2000 (Séisme de magnitude moyenne)

Conformément à la figure (4-12) le déplacement cible est égal à $\delta_t=0,104$ m qui correspond à un effort tranchant à la base de valeur 304,210 Kn.

Après l'application des trois méthodes, nous constatons que la valeur maximale du déplacement cible est toujours obtenue au moyen de la méthode du coefficient de déplacement FEMA-273 [24] qui est $\delta_t=0,143$ m, cette valeur correspond avec le sixième pas dans le tableau du spectre de capacité du modèle (5-2), figure (4-8), où le déplacement atteint $\delta_t=0,1530$ m, cette valeur correspond à l'événement LS qui indique la présence de grands dommages qui peuvent affectés les éléments structurels avec une grande baisse dans la résistance et la rigidité de la structure, mais il reste une marge contre l'effondrement, l'utilisation de cette structure peut être interdit jusqu'à l'engagement de certaines réparations.

Ceci est confirmé par la constatation de la distribution des rotules plastiques, comme illustré dans la figure (4-13), où les rotules sont plastifiées à l'événement LS au premier niveau aux poteaux près des appuis aux poutres aussi; Les poutres du deuxième niveau, sont plastifiées à l'événement IO, le reste des autres éléments plastifiés est plastifié à l'événement B.

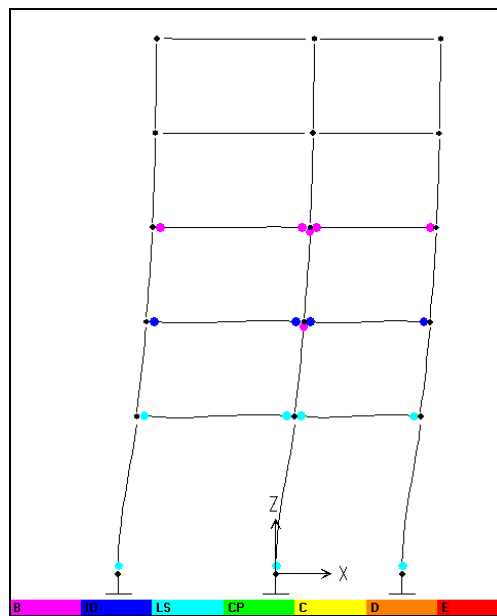


Figure 4-13 : Distribution des rotules plastiques du modèle 5-2, 6ème pas

Finalement, nous constatons que le niveau de dommage dans les deux modèles a augmenté de ce qu'il était dans les séismes de faible magnitude, logiquement. Malgré l'augmentation dans le niveau des dommages du modèle (5-1), dans le cas de séisme de moyenne magnitude, sa performance reste acceptable et il n'existe aucun danger, contrairement à la performance du modèles (5-2) qui indique la probabilité d'existence de dommages importants, mais ces derniers n'entraînent pas au danger de tombées de grands débris à l'intérieur ou à l'extérieur de la construction, finalement la structure ne se trouve pas en phase d'effondrement immédiat. Mais par prudence, il est impératif d'engager les réparations avant l'utilisation.

4.3.3. Les séismes de forte magnitude

Comme dans les cas précédents, pour la détermination du point de performance des modèles (5-1) et (5-2) sous un séisme de forte magnitude, nous procédons en premier lieu au réajustement des deux (02) coefficients C_a, C_v , la valeur de ces deux coefficients dans ce cas est : $C_a = 0.36, C_v = 0.54$ Additivement à $T_0=0,12s$ et $T_g=0,6s$.

4.3.3.1. Détermination du point de performance du modèle (5-1)

nous utilisons les méthodes pushover cités précédent:

4.3.3.1.1. La méthode du coefficient de déplacement FEMA-273 [24]

Le déplacement cible δ_t au point de contrôle est déterminé par la relation suivante (l'équation 1,49) :

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_g^2}{4\pi^2} g$$

La totalité des paramètres du modèle (5-1), sont déterminée dans les deux cas précédents, elle est comme suit :

$$T_g = T_i = 0.7107 \text{ sec}, C_0 = 1.4, C_1 = 1, C_2 = 1.1, C_3 = 1$$

Il nous reste seulement à déterminer la valeur d'accélération du spectre de réponse lors de la période fondamentale effective T_g dans le cas d'un séisme de forte magnitude, et delà,

$$S_a = \frac{C_v}{T} = \frac{0.54}{0.7107} = 0.769$$

Et ainsi le calcul du déplacement cible sera comme suit :

$$\delta_c = 1.4 \times 1 \times 1.1 \times 1 \times 0.769 \times \frac{(0.7017)^2}{4\pi^2} \times 9.81$$

$$\delta_c = 0.145 \text{ m}$$

4.3.3.1.2. Méthodes N2 (EC8 [18])

Les paramètres m^* , Γ , T^* du modèles (5-1) sont déterminés dans les deux cas précédents, il suffit de trouver l'accélération du spectre de réponse lors de la période du système équivalent à un seul degré de liberté T^* .

$$\frac{S_g(T^*)}{g} = \frac{C_V}{T^*} = \frac{0.54}{0.726} = 0.744$$

$$d_{st}^* = 0.744 \times 9.81 \left[\frac{0.726}{2\pi} \right]^2 = 0.0975 \text{ m}$$

Nous avons $T^* = 0.726 > T_g = 0.6$ alors :

$$d_c^* = d_{st}^* \Rightarrow d_c^* = 0.0975 \text{ m}$$

Delà le déplacement cible du modèle (5-1) dans le cas de séismes de forte magnitude est :

$$d_c = \Gamma d_c^* = 1.295 \times 0.0975$$

$$d_c = \delta_c = 0.126 \text{ m}$$

4.3.3.1.3. Méthode du spectre de capacité

Dans ce cas, nous introduisons dans le programme SAP200 les données suivantes :

$C_a = 0.36$, $C_v = 0.54$, la figure (4-14), illustre la courbe pushover et les spectres de réponse dans le format ADRS pour ces données.

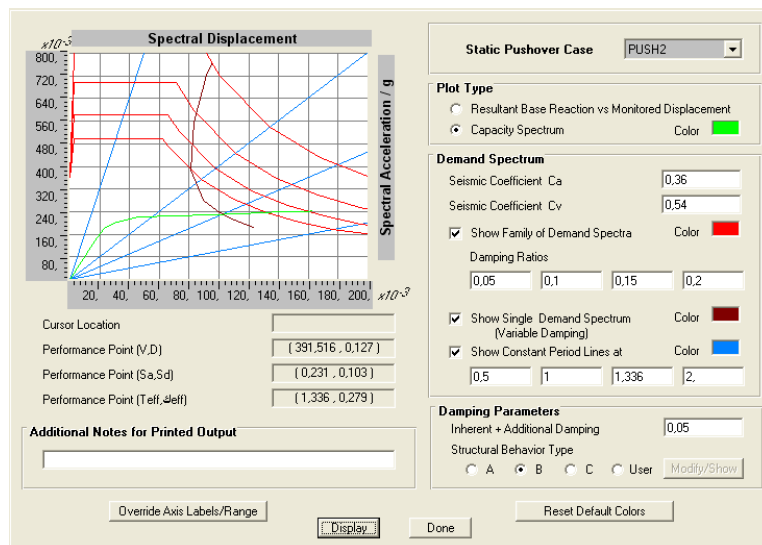


Figure 4-14 : Détermination du point de performance du modèle 5-1 selon SAP2000 (Séisme de forte magnitude)

Selon la figure le déplacement cible est égal à $\delta_t=0,127$ m qui correspond à un effort tranchant à la base de valeur 391,516 Kn.

Comme dans les cas précédents, le déplacement cible maximal est celui obtenu au moyen de la méthode de coefficient de déplacement FEMA-273 [24] qui est $\delta_E=0,145$ m, nous constatons que cette valeur correspond avec le 9ème pas dans le tableau du spectre de capacité du modèle (5-1), figure (4-4) ou le déplacement atteint $\delta_E=0,176$ m, cette valeur correspond à l'événement LS, qui indique la présence de grands dommages qui peuvent affectés les éléments structurels avec une grande baisse dans la résistance et la rigidité de la structure, mais il reste une marge contre l'effondrement, l'utilisation de cette structure peut être interdit jusqu'à l'engagement de certaines réparations.

Ce qui est confirmé par la constatation de la distribution des rotules plastiques comme illustré dans la figure (4-15), où les rotules sont plastifiées à l'événement LS dans les poutres des niveaux un et deux conjointement aux poteaux du niveau un près des appuis, comme il existe des rotules plastifiées à l'événement IO, et cela dans les poutres du niveau trois, le reste des éléments plastifiés sont plastifiés à l'événement B.

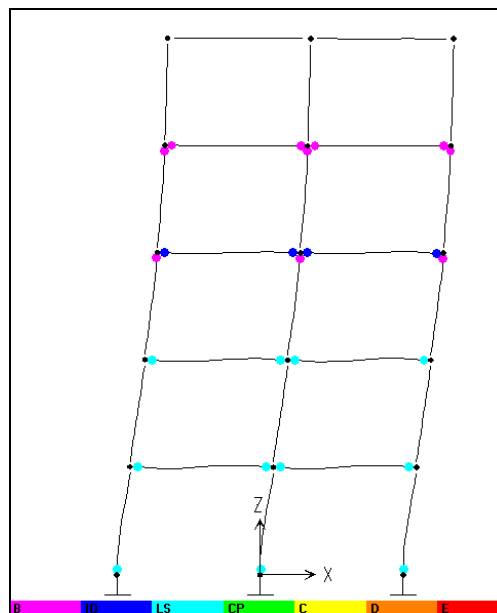


Figure 4-15 : Distribution des rotules plastiques du modèle 5-1, 9ème pas

4.3.3.2. Détermination du point de performance du modèle (5-2)

nous utilisons les méthodes pushover cités précédent:

4.3.3.2.1. La méthode du coefficient de déplacement FEMA-273[24]

Le déplacement cible δ_t au point de contrôle est déterminée par la relation suivante (l'équation 1,49) :

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_g^2}{4\pi^2} g$$

Tous les paramètres du modèle (5-2) sont déterminés comme dans les cas précédents et comme suit :

$$T_g = T_i = 0.9367 \text{ sec} , C_0 = 1.4 , C_1 = 1 , C_2 = 1.1 , C_3 = 1$$

Il reste seulement à déterminer la valeur d'accélération du spectre de réponse lors de la période fondamentale effective T_g , et delà :

$$S_a = \frac{C_v}{T} = \frac{0.54}{0.9367} = 0.576$$

Le calcul du déplacement cible δ_t est comme suit :

$$\delta_t = 1.4 \times 1 \times 1.1 \times 1 \times 0.576 \times \frac{(0.9367)^2}{4\pi^2} \times 9.81$$

$$\delta_t = 0.193 \text{ m}$$

4.3.3.2.2 Méthodes N2 (EC8 [18])

Les paramètres m^* , Γ , T^* du modèles (5-2) sont déterminés dans les deux cas précédents, il suffit de trouver l'accélération du spectre de réponse lors de la période du système équivalent à un seul degré de liberté T^* .

$$\frac{S_g(T^*)}{g} = \frac{C_v}{T^*} = \frac{0.54}{0.966} = 0.599$$

$$d_{st}^* = 0.744 \times 9.81 \left[\frac{0.726}{2\pi} \right]^2 = 0.0975 \text{ m}$$

Nous avons $T^* = 0.966 > T_g = 0.6$ alors :

$$d_t^* = d_{st}^* \Rightarrow d_t^* = 0.139 \text{ m}$$

Delà, le déplacement cible du modèle (5-2) est :

$$d_t = \Gamma d_t^* = 1.235 \times 0.139$$

$$d_t = \delta_t = 0.17 \text{ m}$$

4.3.3.2.3. Méthode du spectre de capacité

Dans ce cas, nous introduisons dans le programme SAP2000, les données suivantes : $C_a = 0.36$, $C_v = 0.54$, la figure (4-16) illustre la courbe pushover et les spectres de réponse dans le format ADRS de ces données.

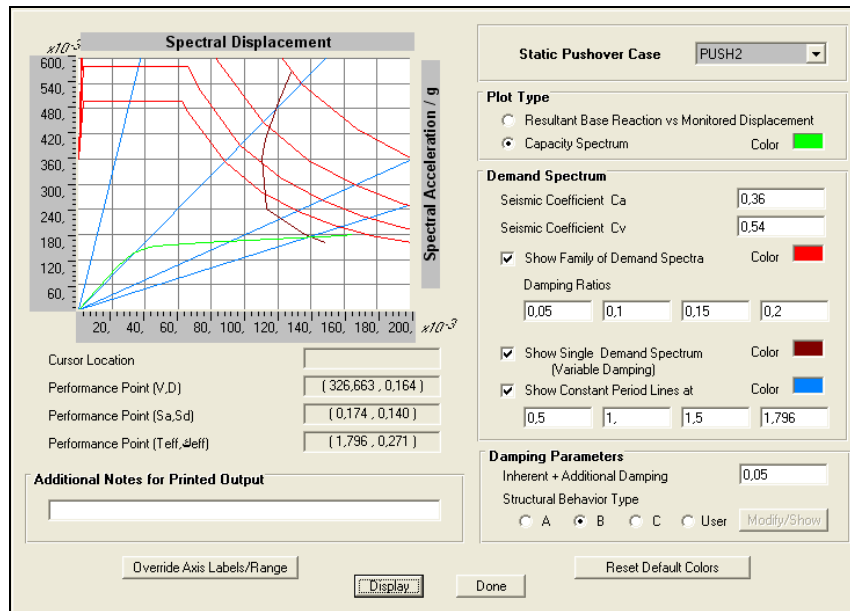


Figure 4-16 : Détermination du point de performance du modèle 5-2 selon SAP2000 (Séisme de forte magnitude)

La figure illustre clairement que le point d'intersection de la courbe de la demande sismique et la courbe pushover à une grande valeur de déformation qui est $\delta_f = 0,164$ m qui représente le déplacement cible, correspond à un effort tranchant à la base de valeur 326,663 Kn.

Comme dans les cas précédents, le déplacement cible maximal est celui obtenu par la méthode du coefficient de déplacement FEMA-273 [24], qui est $\delta_f = 0,193$ m, nous constatons que cette valeur correspond au 8^{ème} pas dans le tableau du spectre de capacité du modèle (5-2), figure (4-8), où le déplacement atteint $\delta_f = 0,194$ m, cette valeur correspond à l'événement C, qui indique la présence de dommages structurels et non structurels importants , additivement à la présence d'une dégradation importante dans la résistance aux charges latérales avec la possibilité de continuité dans la résistance les charges de gravité (charges verticales). La résistance aux charges latérales après le point C sont généralement non fiables. Pour cela, les éléments principaux du système de résistance aux charges latérales ne doivent en aucun cas subir de déformation après l'événement C.

Delà, la structure dans ce cas n'est pas sûr et inutilisable car les répliques entraînent l'effondrement de la structure.

Ce qui est confirmé par la distribution des rotules plastiques, comme illustre par la figure (4-17), qui fait apparaître que le niveau un est le plus endommagé par la présence d'une rotule plastifiée à l'événement C dans la poutre gauche près de l'appui, les autres rotules dans le niveau un sont plastifiées à l'événement LS.

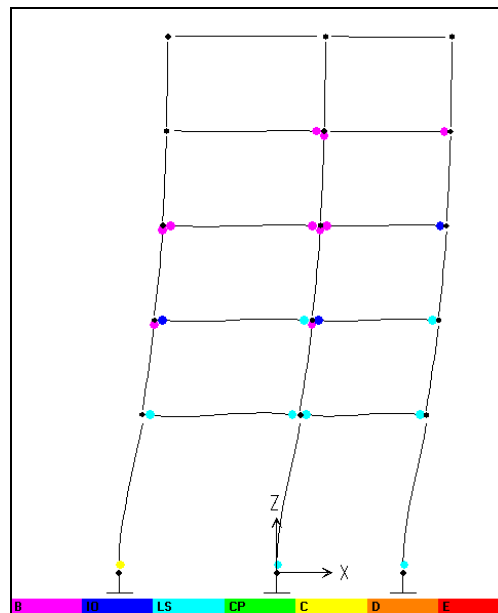


Figure 4-17 : Distribution des rotules plastiques du modèle 5-2, 8ème pas

Finalement, nous constatons, que le niveau de dommage des modèles (5-1) et (5-2) a augmenté par rapport à ce qu'il était en l'étape précédente, soit l'étape des séismes de moyenne magnitude, chose logique, le modèle (5-1) malgré la présence de dommages importants dans les deux premiers niveaux mais n'entraînent pas la tombée de grands débris, la structure ne se trouve pas en danger, il suffit de procédures à des réparations avant l'utilisation contrairement au modèles (5-2) qui a perdu une grande partie de sa résistance et les grands dommages se situent au poteau gauche dans le niveau un, après cette déformation, il est impossible d'assurer l'obtention de la résistance les charges latérales de ce poteau, la structure se trouve en danger.

En conclusion, nous constatons que dans les trois cas de séismes, l'analyse pushover a fait apparaître que le plus grand niveau de dommage se trouve dans le modèle (5-2) par comparaison au modèle (5-1), chose logique, étant donné la non existence d'irrégularité verticale et la présence probable d'étage souple du modèle (5-2).

4.4. Détermination du point de performance par l'utilisation du spectre de réponse du code algérien RPA2003 [47]

Comme dans paragraphe précédent, nous procédons à, la détermination du point de performance par l'utilisation des trois méthodes pushover, dans ce cas la demande sismique peut être représentée par l'utilisation du spectre de réponse élastique qui ne prend pas en considération la réduction de l'effet sismique.

Alors, le spectre de réponse élastique utilisé pour les modèles analytiques réguliers et irréguliers correspondant au code RPA2003, est le spectre obtenu par les spectres de réponse utilisées dans paragraphe (2.6), il suffit de valoriser le coefficient de comportement $R=1$, les autres coefficients demeurent inchangés. De là, le spectre de réponse élastique pour tous les modèles est illustre par la figure (4-18).

Nous devons constater, que le spectre de réponse du code américain UBC 97 [57] est aussi un spectre élastique qui ne prend pas en considération le coefficient de comportement R .

Le point de performance de tous les modèles analytiques par l'utilisation du spectre de réponse du code algérien RPA 2003 [47] , est résumé dans le tableau (4-1), comme exemple pour l'étude, nous prenons le modèle (2-1).

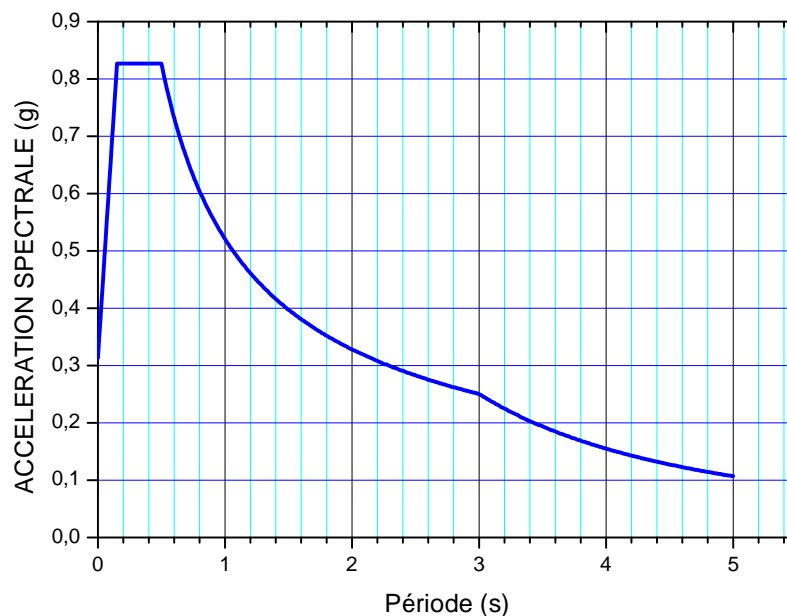


Figure 4-18 : Spectre de réponse élastique de conception de RPA2003

($\xi = 0.7\%$, $R=1$, $Q=1.2$, zone III , groupe d'usage 2)

4.4.1. Détermination du point de performance du modèle (2-1)

nous utilisons les méthodes pushover cités précédents:

4.4.1.1. La méthode du coefficient de déplacement FEMA-273 [24]

Le déplacement cible δ_t au point de contrôle est déterminé par l'équation citée dans le chapitre 1 (l'équation 1,49) :

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_g^2}{4\pi^2} g$$

Comme dans les cas précédents, pour la détermination de la période fondamentale effective T_g , il est impératif de recourir à la courbe pushover du modèle (2-1) et la figure illustrant la modalité de calcul de la rigidité effective de FEMA- 273 [24], figure (1-17), ceci est illustré dans la figure (4-19).

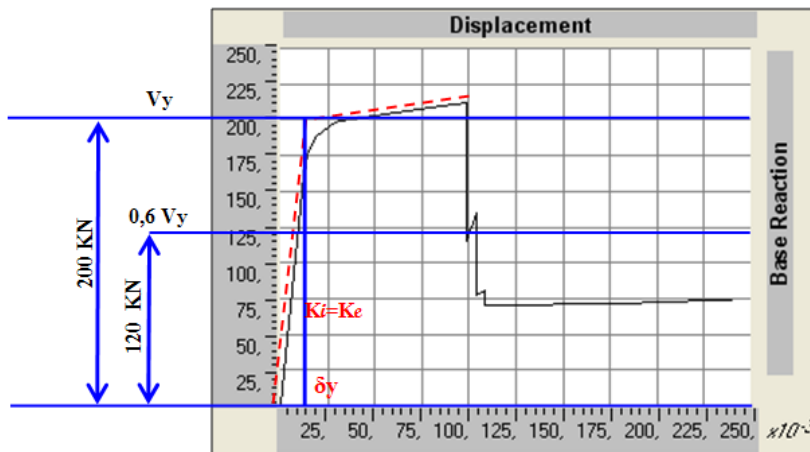


Figure 4-19 : Courbe pushover bilinéaire du modèle 2-1

La courbe pushover bilinéaire du modèle (2-1), fait ressortir que la rigidité latérale élastique de ce modèle est conforme à la rigidité effective K_g , de la période fondamentale effective T_g , est égale à la période fondamentale élastique T_i , et de là les paramètres de l'équation (1,49) sont déterminés comme suit :

$$T_g = T_i = 0.3966 \text{ sec}$$

$$C_0 = 1.2 \text{ Selon le tableau 1.1}$$

Dans ce cas, nous avons $T_g = 0.3966 < T_s = 0.5$, T_s est la période caractéristique du spectre de réponse, Alors le coefficient C_1 est calculé selon l'équation (1,51) comme illustré ci-dessous :

$$C_1 = \frac{1}{R} \left(1 + (R - 1) \frac{T_s}{T_g} \right)$$

Où R est le coefficient représentant du rapport entre la demande de résistance élastique et la résistance plastique calculée, il est donné par l'équation (1,54), comme illustré ci-dessous :

$$R = \frac{S_a}{\frac{C_0 V_y}{W}} = \frac{0.827}{\frac{1.2 \times 200}{706.5}} = 2.23$$

Observation : Tous les paramètres sont explicités dans le chapitre un (01), Delà :

$$C_1 = 1.15$$

$$C_2 = \frac{13+11}{2} = 1.2 \quad \text{Déterminé du tableau dans l'annexe E :}$$

$$C_3 = 1 \quad \text{La rigidité après la plastification est positive.}$$

$$S_a(T_g) = 0.827 \text{ g} \quad \text{Déterminé à partir de la figure (4-18)}$$

Et ainsi le calcul du déplacement cible ST, sera comme suit :

$$\delta_c = 1.2 \times 1.15 \times 1.2 \times 1 \times 0.827 \times \frac{(0.9366)^2}{4\pi^2} \times 9.81$$

$$\delta_c = 0.053 \text{ m}$$

4.4.1.2. Méthodes N2 (EC8 [18])

Pour la détermination du point de performance par la méthode EC8 [18], nous suivrons les étapes suivantes :

- Transformation en un système équivalent à un seul degré de liberté

La masse d'un système équivalent à un seul degré de liberté, m^* est déterminée comme suit :

$$m^* = \sum m_i \Phi_i^2 = (38.4 \times 0.51) + (32.25 \times 1)$$

$$m^* = 51.83 T$$

Le coefficient de transformation est donné par :

$$r = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i} = \frac{51.83}{38.4(0.51)^2 + 32.25(1)^2}$$

$$r = 1.23$$

- Détermination de la période du système équivalent à un seul degré de liberté :

La période T est déterminée par :

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* d_y^e}{F_y^*}}$$

L'effort plastique $F_y^* = \frac{V_y}{r} = \frac{200}{1.23} = 162.6 \text{ KN}$

Le déplacement à la limite de l'élasticité $d_y^e = \frac{\delta_y}{r} = \frac{0.015}{1.23} = 0.012 \text{ KN}$

δ_y et V_y sont déterminés à partir de la figure (4-19).

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{51.83 \times 0.012}{162.6}} = 0.388 \text{ sec}$$

- Détermination du déplacement cible pour le système équivalent à un seul degré de liberté :

le déplacement cible de la structure avec une période T et un comportement élastique illimité, est donné par :

$$d_{st}^* = S_g(T^*) \left[\frac{T^*}{2\pi} \right]^2$$

$$\frac{S_g(T^*)}{g} = \frac{S_g(0.388)}{g} = 0.827 \text{ Déterminé par la figure (4-18) Alors,}$$

$$d_{st}^* = 0.827 \times 9.81 \left[\frac{0.388}{2\pi} \right]^2 = 0.031 \text{ m}$$

Nous avons, $T^* = 0.388 < T_g = 0.5$ (Domaine des périodes courtes)

Et nous avons aussi : $\frac{F_y^*}{m^*} = 0.319g < S_g(T^*) = 0.827g$ (La réponse est non linéaire)

Et delà, le déplacement cible est donné par la relation suivante (A-10).

$$d_t^* = \frac{d_{st}^*}{q_u} \left(1 + (q_u - 1) \frac{T_g}{T^*} \right)$$

q_u est déterminé par la relation (A-11) qui sera :

$$q_u = \frac{S_g(T^*) m^*}{F_y^*}$$

$$q_u = \frac{0.827 \times 9.81 \times 51.83}{162.6} = 2.58$$

Delà : $d_t^* = 0.036m$

Le déplacement cible du système à plusieurs degrés de liberté est donné par :

$$d_t = \Gamma d_t^* = 1.23 \times 0.036$$

$$d_t = \delta_t = 0.045 m$$

4.4.1.3. Méthode du spectre de capacité

Comme nous l'avons constaté précédemment, Les spectres utilisés par SAP2000 ne sont pas conformes aux normes algériennes, c'est pour cela que nous devons l'introduction dans le programme SAP2000 les coefficients C_R , C_V qui permettent la transformation les spectres de normes algériennes aux spectres de normes américaines, pour cela, il est impératif de comparer les spectres américains et le spectre de réponse correspondant aux normes algériennes afin de choisir le spectre américain le plus proche , delà à déduire les valeurs C_R et C_V . La figure (4-20) illustre le spectre de réponse conformément aux normes algériennes, spectre en bleu, conjointement avec les spectres de réponse américains de couleurs verte et rouge.

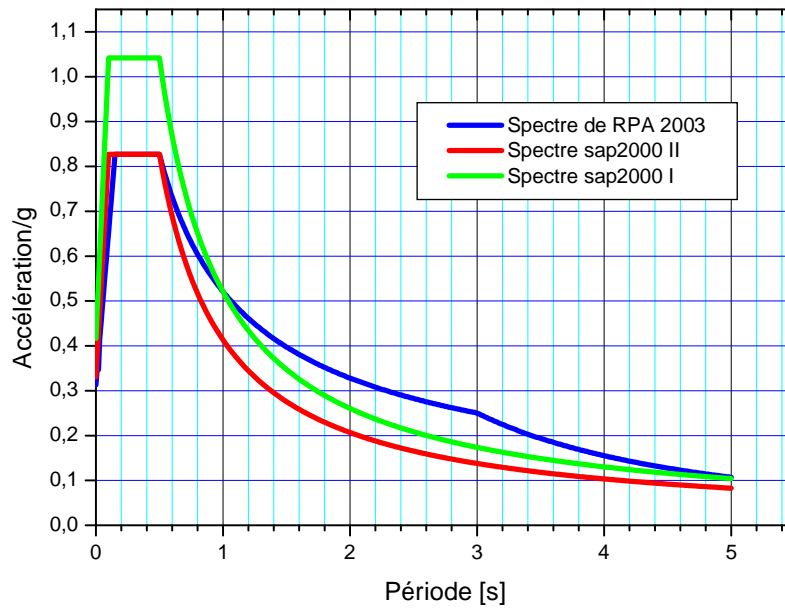


Figure 4-20 : Détermination du spectre de réponse pour le SAP2000

Le premier spectre (de couleur verte), nous constatons que la valeur d'accélération du spectre de réponse au plateau est très lointaine de la valeur donnée dans le spectre RPA2003 [47], par contre dans la partie droite et après le plateau et en débutant par la valeur $S_a=0,827$ g, nous constatons que les valeurs d'accélération du spectre de réponse deviennent proches de celles existante dans le spectre de réponse RPA2003 [47] , avec l'existence d'une valeur conforme à la période $T=1$ sec, par contre dans le deuxième spectre (de couleur rouge), nous constatons que la valeur d'accélération du spectre de réponse au plateau est la même par comparaison au spectre de réponse RPA2003 [47], alors que dans la partie droite après le plateau, elle lointaine d'une certaine façon du spectre de réponse RPA2003 [47] et ce par comparaison au premier spectre.

En fin de compte et après ces comparaisons, nous constatons que le deuxième spectre SAP2000 (en rouge) est le plus concordant au spectre de réponse des normes algériennes, delà $C_a=0,331$, $C_v=0,4135$.

La figure (4-21) illustre la courbe pushover additivement aux spectres de réponses dans le format ADRS de ces données ($C_a=0,331$ et $C_v=0,4135$).

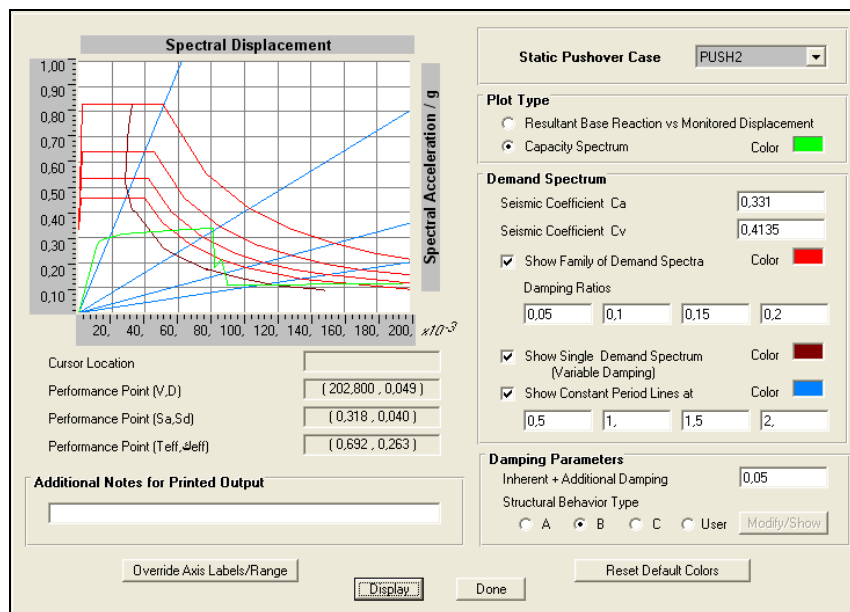


Figure 4-21 : Détermination du point de performance du modèle 2-1 selon SAP2000
(Séisme de forte magnitude, la Zone III selon le code RPA 2003)

Suivant la figure le déplacement cible est égal à $\delta_c = 0,049\text{m}$, correspond à un effort tranchant à la base de valeur 202,8 Kn.

Après notre application des trois méthodes, nous constatons que comme dans les cas précédents que la valeur maximale du déplacement cible était celle obtenue par la méthode du coefficient de déplacement FEMA-273 [24], qui est 0,053 m, nous constatons que cette valeur correspond avec le 7ème pas dans le tableau du spectre de capacité, figure (4-22) où le déplacement atteint $\delta_c = 0,0797\text{ m}$, cette valeur correspond à l'événement LS qui indique la présence de grands dommages qui peuvent affectés les éléments structurels avec une très grande baisse dans la résistance et la rigidité de la structure, mais il existe toujours une marge avant l'effondrement. L'utilisation de cette structure peut être interdite jusqu'à l'engagement de réparations.

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
4	0,0195	188,7113	12	8	0	0	0	0	0	0	20
5	0,0292	197,8993	11	6	3	0	0	0	0	0	20
6	0,0318	199,5358	10	7	3	0	0	0	0	0	20
7	0,0797	208,7283	9	1	2	8	0	0	0	0	20
8	0,0991	212,4488	9	1	0	8	0	2	0	0	20
9	0,0991	115,0162	9	1	0	7	0	0	3	0	20
10	0,1044	134,8984	8	2	0	7	0	0	2	1	20
11	0,1044	118,7398	8	2	0	7	0	0	2	1	20
12	0,1044	77,7328	8	2	0	7	0	0	1	2	20
13	0,1085	80,1636	8	2	0	7	0	0	0	3	20
14	0,1085	69,7604	8	2	0	7	0	0	0	3	20

Figure 4-22 : Tableau du spectre de capacité du modèle 2-1

Ceci est confirmé par l'observation de la distribution des rotules plastiques comme illustré par la figure (4-23), où les rotules sont plastifiées à l'événement LS dans la totalité des poteaux du niveau un près des appuis et près des poutres du niveau un et celles du niveau deux, le reste des autres éléments est plastifié à l'événement B et IO.

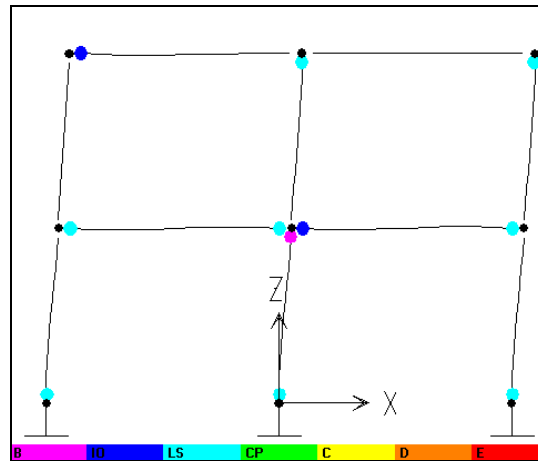


Figure 4-23 : Distribution des rotules plastiques du modèle 2-1, 7^{ème} pas

4.4.2. L'évaluation de la performance des modèles

Dans ce chapitre, nous procédons à l'évaluation des performances de tous les modèles analytiques de cette étude dans une zone à forte magnitude sismique (la Zone III selon le code RPA 2003 [47]). La performance est évalué lors du déplacement cible obtenue par les trois méthodes pushover, après l'évaluation de la performance, nous procédons à la comparaison de la valeur du déplacement au sommet au point de performance de tous les modèles avec la valeur limite du déplacement au sommet donnée par le code RPA2003 [47], pour vérifier la performance des modèles conformément au code RPA2003 [47], nous procédons aussi à la comparaison du déplacement cible et les valeurs limites du code RPA2003 [47] avec la valeur limite de la courbe pushover qui représente la capacité maximale de déformation, de chaque modèle. Le tableau (4-1) ci-dessous, résume toutes ces valeurs :

Modèle	Hauteur totale du modèle (m)	Déplacement cible (m)				Capacité maximale de déformation (m)	Valeur limite de déplacement RPA2003 (m)	Niveau de performance
		ATC-40	EC-8	FEMA-273	Valeur maximale			
2-1	6	0.049	0.045	0.053	0.053	0.099	0.06	LS
2-2	8	0.077	0.094	0.11	0.11	0.1	0.08	l'effondrement
2-3	6	0.048	0.051	0.056	0.056	0.062	0.06	CP
2-4	8	0.081	0.091	0.11	0.11	0.0955	0.08	l'effondrement
5-1	15	0.084	0.11	0.12	0.12	0.20	0.15	LS
5-2	17	0.109	0.15	0.18	0.18	0.194	0.17	LS
5-3	15	0.082	0.11	0.12	0.12	0.1837	0.15	LS
5-4	17	0.106	0.15	0.18	0.18	0.1723	0.17	l'effondrement
8-1	24	0.097	0.14	0.17	0.17	0.2443	0.24	LS
8-2	26	0.117	0.18	0.21	0.21	0.1899	0.26	l'effondrement
8-3	24	0.089	0.13	0.16	0.16	0.2249	0.24	LS
8-4	26	0.111	0.18	0.20	0.20	0.17	0.26	l'effondrement

Tableau 4-1 : Tableau résumant les valeurs de performance de tous les modèles analytiques

Avant l'opération d'évaluation, il impératif de signaler que les valeurs de déplacement cible, calculé par la méthode du coefficient de déplacement FEMA-273[24] , dans cette étude ont toujours été les plus grandes, elles sont très proches des résultats de EC8 [18], par comparaison au résultats de la méthode du spectre de capacité, mais généralement la différence existante et peu importante, dans la réalité, il suffit de trouver le point de performance par l'une des méthodes, mais pour les but de l'étude, nous avons exécutés les trois méthodes et avons choisi la valeur maximale du déplacement cible.

A partir du tableau (4-1), nous constatons que le niveau de performance de tous les modèles réguliers était au niveau de l'état d'exploitation sécuritaire LS, qui indique comme nous l'avons cité précédemment à la présence de grands dommages qui peuvent affectés les éléments structurels avec une grande baisse dans la résistance et la rigidité de la structure mais il existe toujours une marge contre l'effondrement, sauf pour le modèle régulier (2-3) considérant que sa performance était à un niveau de l'état de dommage CP et qui à son tour indique des dommages structurels et non structurels importants qui peuvent affectés les structures avec une marge insignifiante contre l'effondrement, dans ce cas, il peut y avoir des dangers de la chutes de débris et avec cela les composants principaux du système de résistance latérale doivent continuer à supporter les chargements latéraux.

Concernant, les modèles irréguliers, à l'exception du modèle (5-2) dont la performance était à l'état d'exploitation sécuritaire LS, les valeurs de déplacement cibles étaient plus

grandes que la valeur maximale de capacité de déformation, et delà l'effondrement. La cause de l'effondrement dans la plupart des modèles dans ce cas est due à la non régularité verticale. Et la probabilité de présence d'un étage souple dans ces modèles. En réalité, le code algérien RPA2003 [47] recommande l'évitement de ces systèmes spécialement dans les zones à forte magnitude sismique ou le changement du système de contreventement, comme exemple la création pour ces modèles d'un système de contreventement mixte (portiques-voiles).

Le déplacement au sommet limite du code algérien RPA2003 [47] est donné par la relation suivante :

$\delta_{roof}=1 \%h$ où h représente la hauteur totale de la construction, le déplacement au sommet limite de RPA2003 [18] (δ_{roof}) de chaque modèle est illustré dans le tableau (4-1).

A travers, ce tableau, nous constatons que le déplacement cible est inférieur au déplacement au sommet limite δ_{roof} dans la plupart des modèles non effondrés, et ces modèles remplissent une condition du code RPA2003[47] .

Nous observons aussi, que pour la plupart des modèles effondrés, le déplacement cible à dépassé la valeur limite du code RPA2003[47] .

A'exception de certains cas, nous observons que les valeurs de déplacement limite du RPA2003[47] , sont souvent inférieures à la capacité de déformation maximale résultant de la courbe pushover, représentant souvent un niveau unique de performance qui est le niveau de l'état d'exploitation sécuritaire LS, ce qui nous amène à déduire que les règles RPA2003 [47], se basent sur un seul niveau de performance et qui représente l'état limite ultime, qui est lui-même l'état d'exploitation sécuritaire.

4.5.Comparaison de la méthode pushover avec la méthode du spectre de réponse (dynamique linéaire) du Code RPA2003 [47]

Pour l'évaluation de la méthode pushover, nous procédons à la comparaison des résultats obtenus au moyen de cette méthode à ceux obtenus par la méthode dynamique linéaire cité dans le code RPA2003 [47]. Pour procéder à cette comparaison, nous avons choisi les deux modèles (2-1), (2-2), comme nous l'avons cité précédemment les valeurs de ferrailage pour ces deux modèles sont développées sans étude dynamique, se basant sur l'expérience en ingénierie en tenant en compte les conditions RPA2003 [47], au moyen de la méthode pushover, nous avons évalué la performance de ces modèles et la détermination des emplacements des rotules plastiques qui dévoilent les emplacements de faiblesses probables, additivement au degré de dommage, par contre par la méthode du code nous procéderons à la comparaison des valeurs de ferrailage longitudinal calculées après exécution de l'analyse dynamique linéaire avec les valeurs de ferrailage longitudinal existantes, qui lors de tout augmentation du ferrailage représente une insuffisance probable dans la conception initiale.

Les efforts tranchants à la base de ces modèles sont calculés par la méthode du spectre de réponse comme cité dans le chapitre II, paragraphe (2.6) , il existe plusieurs combinaisons des charges citées dans les normes qui doivent être prises en considération, mais dans cette étude, nous procéderons à la conception de ces modèles sous un combinaison de charge unique, qui est celle évoquée dans le code algérien RPA2003 [47] , qui : Les charges permanentes + les charges d'exploitation + les charges sismiques.

(Comb1=G+Q+E), En se basant sur cette combinaison, les valeurs de ferrailage longitudinal des poteaux et poutres des deux modèles (2-1), (2-2) sont résumées respectivement dans les deux tableaux (4-2) et (4-3).

Seulement, il est à signaler que les poteaux seront ferrillés en flexion composée alors que les poutres seront ferrillées en flexion simple et les valeurs de ferrailage longitudinal ne doit pas être inférieures aux valeurs limites minimales données dans RPA 2003[47]. Concernant les poteaux la surface de ferrillages adoptée A_{sd} doivent être supérieures à 0,9 % bh, de telle sorte que b et h représente les dimensions du poteau, alors que le taux minimal total de ferrailage sur la longueur de la poutre est 0,5 % dans toute la section.

Poteaux du modèle	Dimensions des poteaux (cm)		M_{max} (KN.m)	N_{cor} (KN)	Section de ferrailage longitudinal à calculer A_{cal} (cm ²)	Section de ferrailage longitudinal RPA2003 A_{rpa} (cm ²)	Section de ferrailage longitudinal adoptée (cm ²)	Choix d'une section commerciale
	b	h						
2-1	35	35	96.98	250.60	7.80	11.025	11.025	8HA14=12.32cm ²
2-2	35	35	229.17	255.61	28.77	11.025	28.77	14HA14+2HA20 = 30.52 cm ²

Tableau 4-2 : valeurs de ferrailage longitudinal des modèles 2-1 et 2-2 aux poteaux sous la combinaison de charge Comb1

Poutres du modèle	Dimensions des poutres (cm)		M_{max} (KN.m)		Section de ferrailage longitudinal à calculer A_{cal} (cm ²)		Section de ferrailage longitudinal RPA2003 A_{rpa} (cm ²)		Section de ferrailage longitudinal adoptée (cm ²)		Choix d'une section commerciale	
	b	h	Nappe supérieure	Nappe inférieure	Nappe supérieure	Nappe inférieure	Nappe supérieure	Nappe inférieure	Nappe supérieure	Nappe inférieure	Nappe supérieure	Nappe inférieure
2-1	30	40	112.86	49.88	10.38	4.29	3	3	10.63	4.32	3Φ14+3Φ16 =10.65cm ²	3Φ14 =10.65cm ²
2-2	30	40	212.85	152.97	22.88	14.83	3	3	24.04	15.43	3Φ20+3Φ20 =25.12cm ²	4Φ20+1Φ20 =15.70cm ²

Tableau 4-3 : Valeurs de ferrailage longitudinal des modèles 2-1 et 2-2 aux extrémités des poutres sous la combinaison de charge Comb1

Il est signalé que les valeurs de ferrailage longitudinal A_{cal} sont calculées selon les règlements BAEL91 [5] dans l'état limite ultime .

Après le calcul du ferrailage des poutres et poteaux des modèles (2-1) et (2-2), nous comparons ses valeurs avec les valeurs du ferrailage de la conception initial. Le pourcentage positif de variation dans le ferrailage dans les deux cas indique une insuffisance dans le ferrailage chez cet élément, s'il est soumis à une charge sismique (suivant la combinaison Comb1), le tableau (4-4) indique la variation dans les valeurs de ferrailage.

Modèle	Elément		Valeurs de ferrailage existantes (cm2)	Nouvelles valeurs de ferrailage (cm2)	pourcentage de variation (%)
(2-1)	Poteau		16.06	12.32	-26.25 %
	pouter	Nappe supérieure	8.64	10.62	23.26 %
		Nappe inférieure	4.62	4.62	0 %
(2-2)	poteau		16.06	30.52	88.79 %
	pouter	Nappe supérieure	8.64	25.12	190.70 %
		Nappe inférieure	4.62	15.70	239.82 %

Tableau 4-4 : Pourcentage de variations dans les valeurs de ferrailage

Delà, les résultats de la méthode dynamique linéaire du code peuvent être résumés ainsi :

les poteaux dans le modèles (2-2) exigent un ferrailage supplémentaire, le pourcentage de ce dernier se rapproche 89 % du ferrailage existant, ce qui dénote la faiblesse de ces poteaux lors de leur soumission à la charge sismique de cette étude. Ce qui nous amène à renforcer ce portique, s'il fait partie d'une construction existante.

Alors que les poteaux dans le modèle (2-1) n'exigent pas de ferrailage supplémentaire, ce qui indique que ces poteaux, résistent à la charge sismique de cette étude.

Concernant les poutres, dans le modèle (2-2), exigeaient un ferrailage supplémentaire dépassant le seuil des 100 %, 190,94 % dans la nappe supérieure et 239,82 % dans la nappe inférieure aux extrémités de la poutre, ce qui dénotent leurs faiblesses lors de leur soumission à la charge sismique de cette étude. Ce qui nous amène à renforcer ce portique, s'il fait partie d'une construction existante.

Alors que les poutres dans le modèle (2-1), n'exigent pas de ferrailages supplémentaires , Ce qui indique que ces poutres, résistent à la charge sismique de cette étude.

Des résultats de la méthode dynamique linéaire du code, nous concluons que le modèle (2-2) a besoin d'un ferrailage supplémentaire selon un fort pourcentage dans les poutres et les poteaux, ce qui indique la faiblesse de ces éléments si, elles sont soumises à une force sismique, alors que le modèle (2-1) n'exige pas de ferrailage supplémentaire, ce qui indique que le modèle peut résister à la force sismique de ce cas.

Ces résultat en général, correspondant aux résultats d'analyse pushover, qui indiquent que le modèle (2-2) est modèle faible, qui ne peut supporter les forces sismiques de ce cas et

expose à l'effondrement, alors que pour le modèle (2-1), l'analyse pushover indique son exposition à des dommages et qu'il continue à résister aux forces sismiques de ce cas, et n'est pas en danger d'effondrement.

Additivement à cela, l'analyse pushover, par comparaison à l'analyse dynamique linéaire permet de déterminer les zones critiques qui comportent de fortes demandes de déformations (emplacements des rotules plastiques), et qui doivent faire l'objet d'une grande attention lors de la conception. D'autre part, il démontre les résultats de dégradation de la résistance des éléments individuels sur le comportement global de la structure, et aussi l'exécution de l'analyse pushover avec soin, nous fournit une grande compréhension des aspects structurels qui dominent la performance lors d'un séisme sévère où dans la plupart des cas les structures ne peuvent résister dans le domaine élastiques du comportement structurel performance.

En fin de compte, l'analyse pushover nous fournit des informations de grande importance que l'analyse dynamique linéaire