

# Chapitre IV

---

Application de la méthode Push over par deux  
approches différentes

---

### IV.1 Introduction:

Les critères de ruine des éléments linéiques sont généralement exprimés en termes de rotation plastique au niveau des extrémités des éléments. Les méthodes de calcul des rotations limites aboutissent souvent à des formules complexes basées sur l'expérimentation.

Nous présentons pour déterminer les rotations de ruine les méthodes suivantes :

### IV-2 La méthode du FEMA 356 [9]:

Cette loi est basée sur la phase élastique qui s'étend entre les points **A** et **B** puis un plateau plastique (entre les points **B** et **C**) de longueur (**a**) à déterminer et on ne peut dire que la structure est en ruine que si sa rotation atteint la valeur **b** (voir figure IV.1). L'évaluation de ces rotations (**a**, **b** etc) a été tirée à partir de la **FEMA 356**[9].

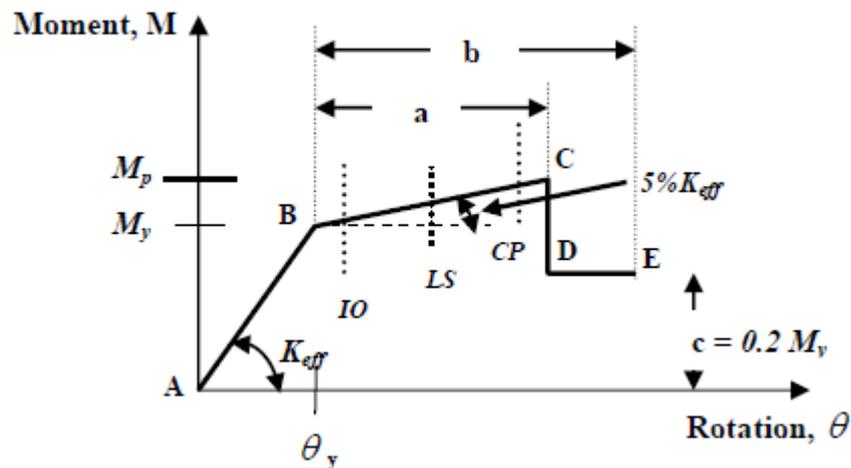


Figure IV.1 : Diagramme moment - rotation associée à la plastification des poutres par flexion

### IV-2.1 Calcul de la rotation associée aux poutres :

#### 1-Poutres principales:

a)-Calcul de la rigidité initiale ( $k_{eff}$ ) à la flexion de la section de béton de la poutre :

$$K_{eff} = 0,5E_c I_g$$

Avec :

$I_g$  : moment d'inertie de la section de béton de la poutre

$E_c$  : module d'élasticité du béton.

$$K_{eff} = 0,5(3216419) \frac{0,3 \times 0,35^3}{12}$$

$$K_{eff} = 172384 \text{KN.m}$$

On calcule le moment élastique limite de section de béton armé de la poutre :

$$M_y = 0.5 f'_c B K d \cdot \left( \frac{K d}{3} - d' \right) + f_y B d \cdot (d - d')$$

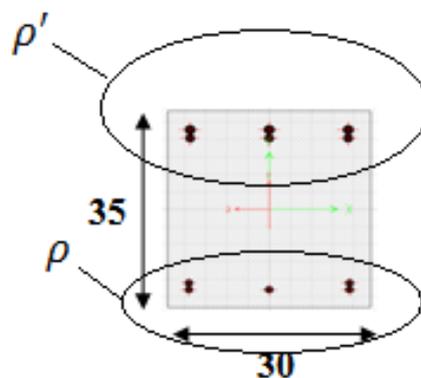
$k$  : est le facteur de la hauteur de l'axe neutre correspondant à état élastique limite:

$$K = \sqrt{(\rho + \rho')^2 \eta_{sc}^2 + 2 \left( \rho + \rho' \frac{d'}{d} \right) \eta_{sc} + (\rho + \rho') \eta_{sc}}$$

Formule dans laquelle  $\eta_{sc} = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{3216419} \rightarrow \eta_{sc} = 6,218$

**Les pourcentages des armatures longitudinales tendues et comprimées ( $\rho$  ;  $\rho'$ ) :**

La figure suivante présente les pourcentages des armatures longitudinales tendues et comprimées ( $\rho$  ;  $\rho'$ ) pour les poutres principales.



**Figure IV.2 :** les pourcentages des armatures longitudinales tendues et comprimées ( $\rho$  ;  $\rho'$ )

$$\rho = \frac{A_s}{B} = \frac{5,65}{30 \times 35} \rightarrow \rho = 5,38 \times 10^{-3}$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{B} = \frac{10,65}{30 \times 35} \rightarrow \rho' = 1,014 \times 10^{-2}$$

$$d = 0,9h = 0,9 \times 35 \rightarrow d = 31,50 \text{ cm}$$

$$d' = 0,1h = 0,1 \times 35 \rightarrow d' = 3,5 \text{ cm}$$

$$K = \sqrt{\left(5,38 \cdot 10^{-3} - 1,014 \cdot 10^{-2}\right)^2 (6,218)^2 + 2 \left(5,38 \cdot 10^{-3} + 1,014 \cdot 10^{-2} \frac{3,5}{31,5}\right) \times 6,28} \\ + \left(5,38 \cdot 10^{-3} + 1,014 \cdot 10^{-2}\right) \times 6,28$$

$$\rightarrow k = 0,3825$$

$$M_y = 0,5 \times 25 \cdot 10^3 \times 0,3 \times 0,3825 \times 0,315 \cdot \left(\frac{0,3825 \times 0,315}{3} - 0,035\right) \\ + 400 \cdot 103 \times 0,3 \times 0,315 (0,315 - 0,035)$$

$$\rightarrow M_y = 1058633 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

b)-Calcul de la Rotation élastique limite de section en béton armé de la poutre:

$\theta_y$  est donnée par la formule suivante :

$$\theta_y = \frac{M_y}{E_c I_g} \cdot \frac{L}{6}$$

Le tableau suivant donne la rotation élastique associée aux poutres principales

<b>L(m)</b>	<b>2.40</b>	<b>4.70</b>	<b>2.80</b>	<b>4.00</b>
<b><math>\theta_y</math>(rad)</b>	<b>0.1228</b>	<b>0.2405</b>	<b>0.1432</b>	<b>0.2046</b>

**Tableau IV.I :** Rotation élastique associée aux poutres principales

c)-Calcul du moment plastique (moment résistant) de la section de béton armé de la poutre:

$$M_p = M_y + 5\% K_{eff} a$$

Les paramètres **a**, **b** et **c** sont donnés par le code **FEMA356** [ ].

On calcule la formule:

$$\frac{V}{bwd\sqrt{f'_c}} = \frac{637024}{0,3 \times 0,315 \times 103 \sqrt{25}} = 13,48 > 6$$

On prend les valeurs :

$$\begin{cases} a = 0,02 \\ b = 0,04 \\ c = 0,20 \end{cases}$$

On prend la rotation plastique à partir la relation trigonométrique:

$$\theta_p = \theta_Y + a \quad \text{et} \quad \theta_E = (b - a) + \theta_p$$

Le moment au point **D** et **E** se calcule d'après la relation suivante :

$$M_{ED} = 0,2 \times M_Y$$

Le tableau IV.2 donne les moments et les rotations associées aux poutres principales

<b>L(m)</b>	<b>2.40</b>	<b>4.70</b>	<b>2.80</b>	<b>4.00</b>
<b><math>M_Y</math>(KN.m)</b>	<b>10586.33</b>	<b>10586.33</b>	<b>10586.33</b>	<b>10586.33</b>
<b><math>M_P</math>(KN.m)</b>	<b>10588.053</b>	<b>10588.053</b>	<b>10588.053</b>	<b>10588.053</b>
<b><math>\theta_p</math>(rad)</b>	<b>0.1426</b>	<b>0.2605</b>	<b>0.1632</b>	<b>0.2246</b>
<b><math>M_{D,E}</math>(KN.m)</b>	<b>2117.266</b>	<b>2117.266</b>	<b>2117.266</b>	<b>2117.266</b>
<b><math>\theta_E</math>(rad)</b>	<b>0.1626</b>	<b>0.2805</b>	<b>0.1832</b>	<b>0.2446</b>

**Tableau IV.2 :** Moments et rotations associées aux poutres principales

Une fois les valeurs ( $M_Y$ ,  $M_P$ ,  $\theta_P$ ) ont été calculées, on peut maintenant représenter la loi de comportement moment-rotation pour les poutres principales comme il est indiqué sur la figure IV.3 pour ( $L=4,7m$ ).

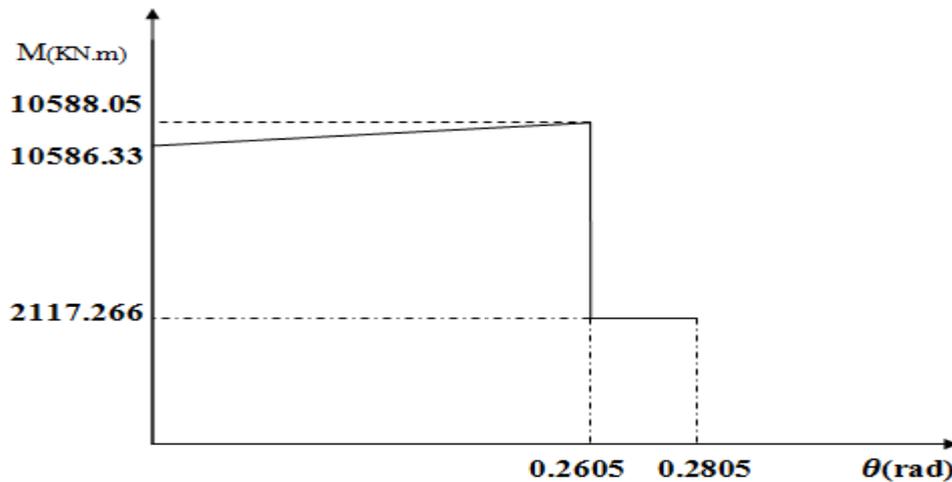


Figure IV.3 : Loi moment-rotation associée aux poutres principales

## 2- Poutres secondaires:

a)-Calcul la rigidité initiale à la flexion de la section de béton de la poutre secondaire :

$$K_{eff} = 0,5E_c I_g = 0,5(32164190) \frac{0,30^4}{12}$$

$$\rightarrow K_{eff} = 172384 KN.m^2$$

**Les pourcentages des armatures longitudinales tendues et comprimées ( $\rho$  ;  $\rho'$ ) :**

La figure suivante présente les pourcentages des armatures longitudinales tendues et comprimées ( $\rho$  ;  $\rho'$ ) pour les poutres secondaires.

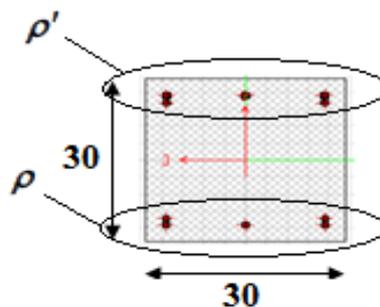


Figure IV.4 : les pourcentages des armatures longitudinales tendues et comprimées ( $\rho$  ;  $\rho'$ )

$$\rho = \frac{A_s}{B} = \frac{5,65}{30 \times 30} \rightarrow \rho = 6,27 \times 10^{-3}$$

$$\rho' = \frac{A_s}{B} = \frac{6,88}{30 \times 30} \rightarrow \rho' = 7,64 \times 10^{-3}$$

$$d = 0,9h = 0,9 \times 30 \rightarrow d = 27 \text{ cm}$$

$$d' = 0,1h = 0,1 \times 30 \rightarrow d' = 3 \text{ cm}$$

Le facteur de la hauteur de l'axe neutre correspondant à l'état élastique limite:

$$K = \sqrt{\left(6,27 \cdot 10^{-3} - 7,64 \cdot 10^{-3}\right)^2 (6,218)^2 + 2 \left(6,27 \cdot 10^{-3} + 7,64 \cdot 10^{-3} \frac{3}{27}\right) \times 6,218 + \left(6,27 \cdot 10^{-3} + 7,64 \cdot 10^{-3}\right) \times 6,218}$$

$$\rightarrow K = 0,3841$$

Le moment élastique limité de section de béton armé de la poutre secondaire:

$$M_y = 0,5 \times 25 \cdot 10^3 \times 0,3 \times 0,3841 \times 0,27 \cdot \left(\frac{0,3841 \times 0,27}{3} - 0,03\right) + 400 \cdot 10^3 \times 0,3 \times 0,27(0,27 - 0,03)$$

$$\rightarrow M_y = 7777,78 \text{ KN.m}$$

b)-Calcul de la Rotation élastique limite de section en béton armé de la poutre:

$$\theta_y = \frac{M_y}{E_c I_g} \cdot \frac{L}{6}$$

Le tableau IV.3 résume la Rotation élastique associée aux poutres secondaires

<b>L(m)</b>	<b>2.40</b>	<b>4.70</b>	<b>2.80</b>	<b>4.00</b>
<b><math>\theta_y</math>(rad)</b>	<b>0.1228</b>	<b>0.2405</b>	<b>0.1432</b>	<b>0.2046</b>

**Tableau IV.3** : Rotation élastique associée aux poutres secondaires

C) Calcul moment plastique (moment résistant) de la section de béton armé de la poutre:

$$M_p = M_y + 5 \cdot 10^6 / 0 K_{eff} a \Rightarrow MP = 7777,78 + 5 \cdot 10^6 / 0 \cdot 108554414(0,02)$$

$$\rightarrow M_p = 7886334 \text{ KN.m}$$

Le moment au point **D** et **E**:

$$M_{D,E} = 0,2 \times M_Y = 0,2 \times 7777,78$$

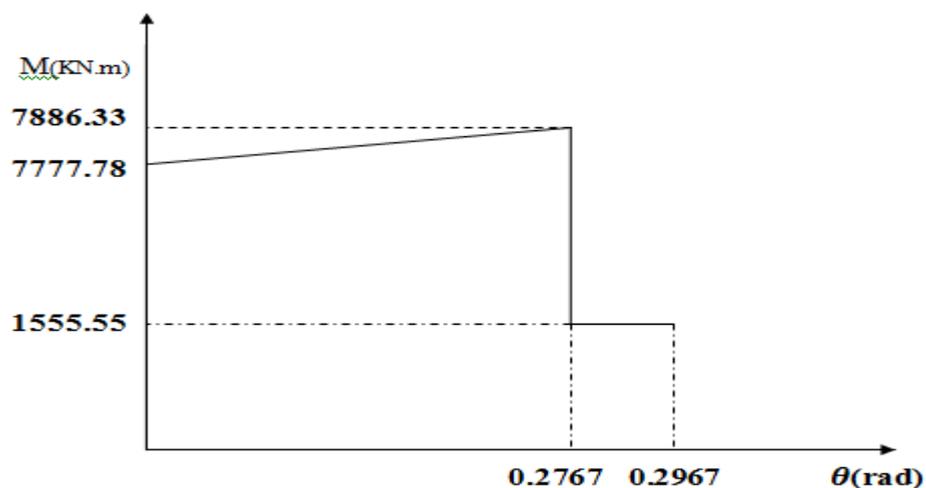
$$\rightarrow M_{D,E} = 1555,56 \text{ KN.m}$$

Les moments et les rotations associés aux poutres secondaires sont présentés dans le tableau IV.4

L(m)	M <sub>Y</sub> (KN.m)	M <sub>p</sub> (KN.m)	Θ <sub>p</sub> (rad)	M <sub>D,E</sub> (KN.m)	Θ <sub>E</sub> (rad)
3.10	7777.78	7886.334	0.2051	1555.556	0.2251
4.30	7777.78	7886.334	0.2767	1555.556	0.2967

**Tableau IV.4 :** Moments et rotations associés aux poutres secondaires

Une fois les valeurs (M<sub>Y</sub>, M<sub>p</sub>, θ<sub>p</sub>) ont été calculées, on peut maintenant représenter la loi de comportement moment-rotation pour les poutres secondaires comme il est indiqué sur la figure IV.5 pour L=4,3).



**Figure IV.6 :** Loi moment-rotation associée aux poutres secondaires

### 3-Les poteaux:

a)-Calcul de la rigidité initiale à la flexion de la section de béton du poteau :

$$K_{eff} = 0.7 E_c I_g = 0,7(32164190) \frac{0,35^4}{12}$$

$$\rightarrow K_{eff} = 281554 \text{ KN.m}$$

b)-Calcul du moment élastique limite des poteaux :

$M_Y$  : Moment élastique limite de la section de béton armé de poteaux.

Les valeurs des moments élastiques limites des poteaux sont calculées par le programme **SAP2000v** [ ] en tenant compte de l'interaction moments de **flexion(M) - effort normal(N)**.

Dans notre cas :

$$M_Y = 128,556 \text{ KN.m}$$

c)-Calcul de la Rotation élastique limite de section en béton armé de la poutre:

$$\theta_y = \frac{M_y}{E_c I_g} \cdot \frac{L}{6}$$

Le tableau suivant représente la rotation élastique associée aux poteaux

<b>L(m)</b>	<b>0.8</b>	<b>3.06</b>	<b>3.6</b>
<b><math>\theta_Y</math>(rad)</b>	<b>0.00043</b>	<b>0.00163</b>	<b>0.0.0019</b>

**Tableau IV.5** : Rotation élastique associée aux poteaux

Les paramètres **a**, **bet c** sont donnés par le code **FEMA356**

on calcule la formule:

$$\frac{P}{A_g f'_C} = \frac{1596}{0,35^2 \times 25000} = 0,52 > 0,4$$

Avec:

**P** : Effort normal (KN). calculé par **SAP2000v14**

$$\frac{V}{bwd\sqrt{f'_c}} = \frac{637024}{0,3 \times 0,315 \times 10^3 \sqrt{25}} = 13,48 > 6$$

On prend les valeurs  $\begin{cases} a = 0,01 \\ b = 0,015 \\ c = 0,20 \end{cases}$

On prend la rotation plastique avec la relation trigonométrique:

$$\theta_P = \theta_Y + a \quad \text{et} \quad \theta_E = (b - a) + \theta_P$$

le moment au point **D** et **E** se calcul d'après le relation suivant:

$$M_{D,E} = 0,2 \times M_Y$$

Le tableau IV.6 donne les moments et rotations associées aux poteaux

<b>L(m)</b>	<b><math>M_Y</math>(KN.m)</b>	<b><math>M_P</math>(KN.m)</b>	<b><math>\theta_P</math>(rad)</b>	<b><math>M_{D,E}</math>(KN.m)</b>	<b><math>\theta_E</math>(rad)</b>
<b>0.8</b>	<b>128.56</b>	<b>268.77</b>	<b>0.01004</b>	<b>25.71</b>	<b>0.0150</b>
<b>3.06</b>	<b>128.56</b>	<b>268.77</b>	<b>0.0116</b>	<b>25.71</b>	<b>0.0166</b>
<b>3.6</b>	<b>128.56</b>	<b>268.77</b>	<b>0.0119</b>	<b>25.71</b>	<b>0.0169</b>

**Tableau IV.6 :** moments et rotations associées aux poteaux

Une fois les valeurs  $M_Y$ ,  $M_P$ ,  $\theta_P$  ont été calculés, on peut maintenant représenter la loi de comportement moment-rotation pour les poutres secondaires comme il est indiqué sur la figure IV.7 pour (L= 3,6).

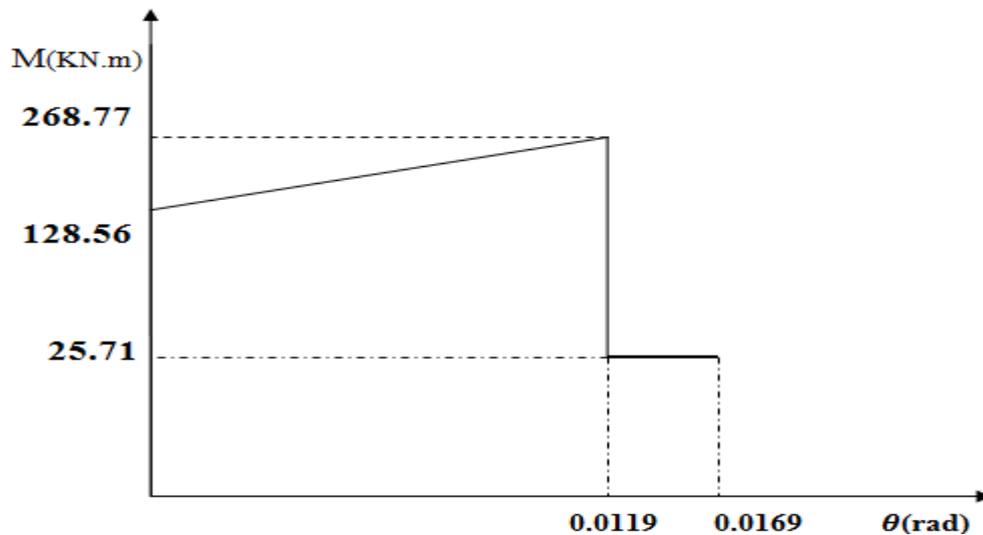


Figure IV.7: Loi moment-rotation associée aux poteaux

### IV-3. La méthode de Priestley:

La procédure utilisée par **Priestley** [11] a été utilisée pour déterminer les relations moment-rotation des éléments des relations moment-courbure. Dans cette procédure, on assume que le moment varie linéairement le long des poutres et des poteaux avec un point d'inflexion se dirigeant au milieu des éléments. Sur la base de cette hypothèse, la relation entre la courbure et la rotation d'écoulement est obtenue comme suit:

$$\theta_p = (\varphi_u - \varphi_y) L_p$$

Avec :

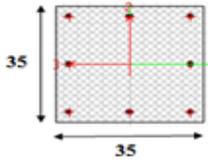
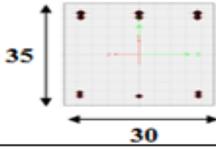
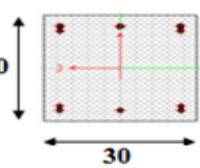
$$L_p = 0.08H + 0.022f_y d_{bl}$$

$L_p$ : Longueur de la rotule plastique

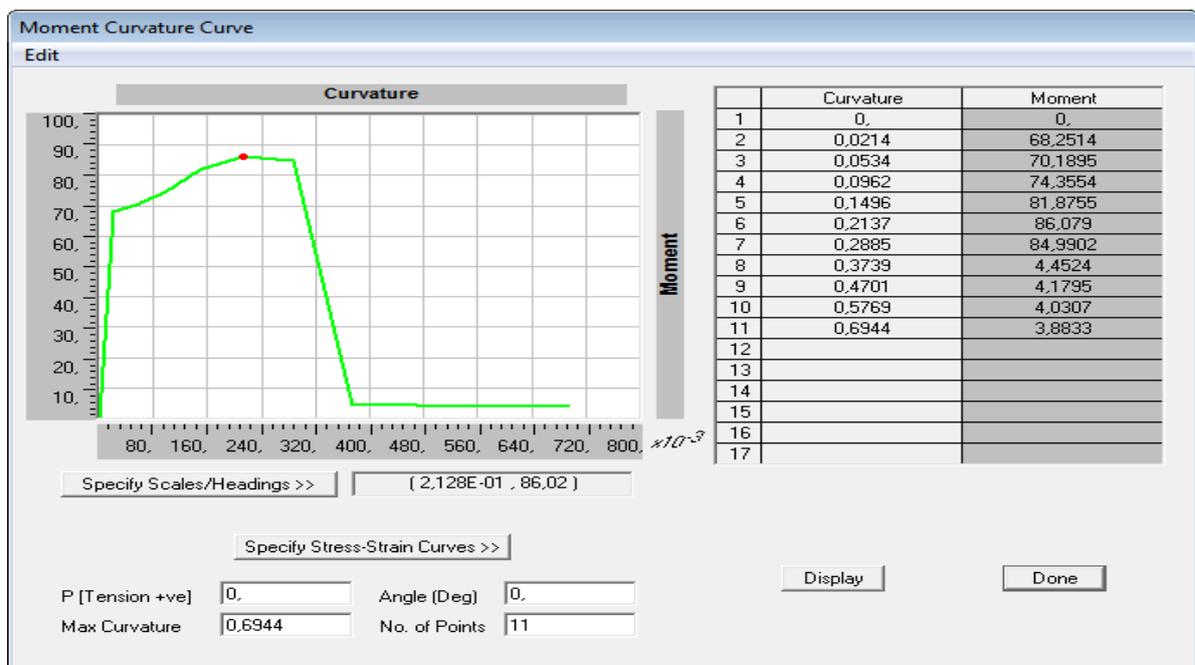
#### IV-3.1. Calcul de la rotation associée aux poteaux et poutres :

Le module Section Designer de **SAP2000 V 14** [19] permet d'obtenir la loi moment-courbure, ou moment-rotation de chaque section en béton armé tant autour de l'axe x que de l'axe y.

Le tableau IV.7 donne les dimensions et les ferrillages des poteaux et des poutres de la structure.

Section	Dimensions	Ferrailage	
		sup	inf
Poteau		8T14	
Poutre principale		3T16 + 3T14	5T12
Poutre Secondaire		3T14 + 2T12	5T12

**Tableau IV.7:**Dimensions et ferrailages des poteaux et poutres de la structure  
 En fonction des dimensions des éléments (poteau et poutres), et en utilisant l'option **section designer** d'ETABS 9.7, on peut visualiser la courbe moment-courbure telle quelle est présentée sur la figure IV.7



**Figure IV.8 :**Loi moment-courbure

Une simplification des courbes moment-courbure est faite en tenant en compte des points  $(M_Y, \varphi_y)$  et  $(M_U, \varphi_u)$ . Cette simplification des courbes réelles  $(M-\varphi)$  permet d'intégrer la loi de comportement des éléments (poteaux et poutres) dans le logiciel SAP2000 V 14.

### 1-Poutres principales:

Le schéma montrant la simplification de la loi moment-courbure pour les poutres principales est représenté sur la figure IV.9.

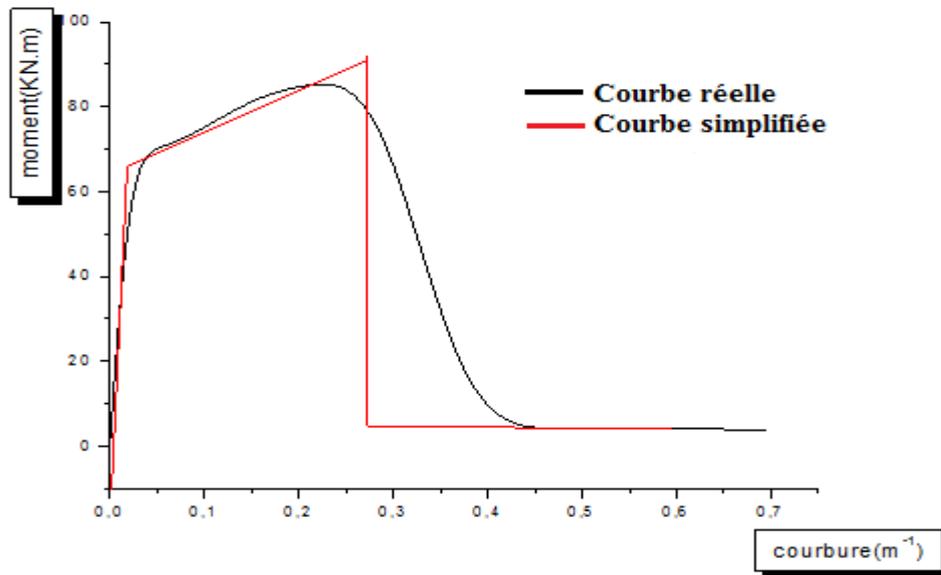


Figure IV.9: simplification d'une loi moment-courbure (poutres principales).

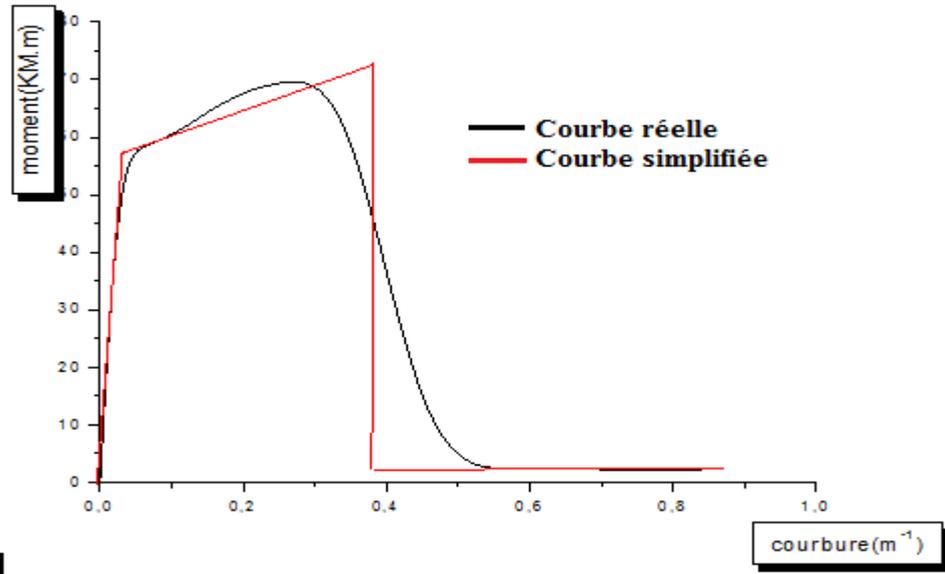
Le tableau suivant résume les valeurs des moments et des courbures à l'état limite élastique et à l'état ultime

H (m)	$M_y$ (KN.m)	$\varphi_y$ (m <sup>-1</sup> )	$M_u$ (KN.m)	$\varphi_u$ (m <sup>-1</sup> )	$\theta_p$ (rad)	$M_E$ (KN.m)
2.40	66.092	0.017	91.415	0.2716	0.0757	4.669
4.70	66.092	0.017	91.415	0.2716	0.1226	4.669
2.8	66.092	0.017	91.415	0.2716	0.0837	4.669
4.00	66.092	0.017	91.415	0.2716	0.1082	4.669

Tableau IV.8: Moments et rotations élastiques et ultimes (poutres principales)

**2-Poutres secondaires:**

Le schéma montrant la simplification de la loi moment-courbure pour les poutres secondaires est représenté sur la figureIV.10



FigureIV.10 :Simplification d’une loi moment-courbure (poutres secondaires).

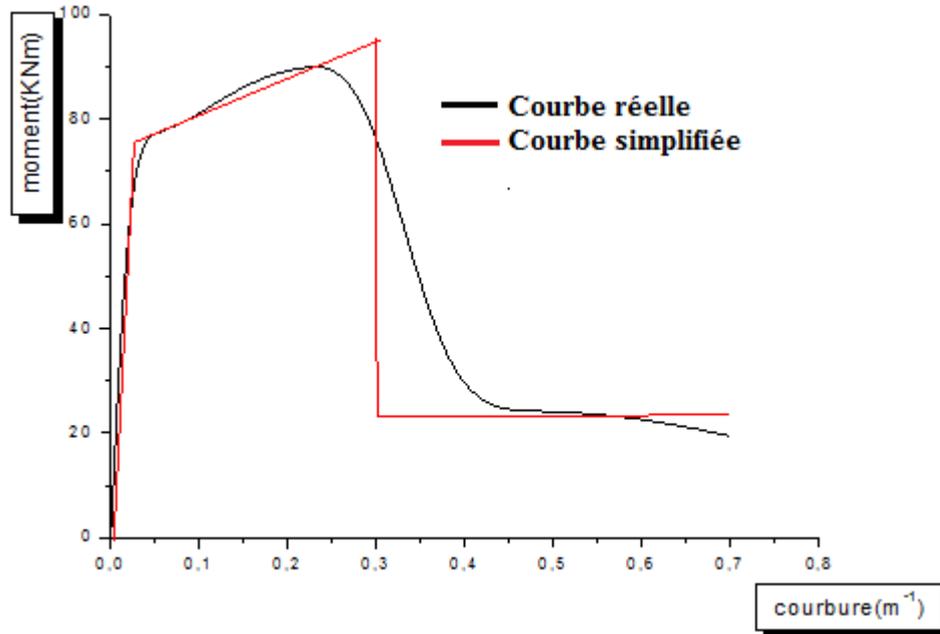
Le tableau suivant résume les valeurs des moments et des courbures à l’état limite élastique et à l’état ultime.

<b>H (m)</b>	<b><math>M_y</math> (KN.m)</b>	<b><math>\varphi_y</math> (m<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>M_u</math> (KN.m)</b>	<b><math>\varphi_u</math> (m<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>\theta_p</math> (rad)</b>	<b><math>M_E</math> (KN.m)</b>
<b>3.10</b>	<b>57.361</b>	<b>0.0296</b>	<b>72.678</b>	<b>0.381</b>	<b>0.1242</b>	<b>2.47</b>
<b>4.30</b>	<b>57.361</b>	<b>0.0296</b>	<b>72.678</b>	<b>0.381</b>	<b>0.1581</b>	<b>2.47</b>

**Tableau IV.9 :**Momentset rotations élastiques et ultimes (poutres secondaires)

### 3 - Les poteaux:

Le schéma montrant la simplification de la loi courbe moment-courbure pour les poteaux est représenté sur la figureIV.11



FigureIV.11 : Simplification d'une loi moment-courbure (poteaux).

Le tableau suivant résume les valeurs des moments et des courbures à l'état limite élastique et à l'état ultime.

$M_y$ (KN.m)	$\varphi_y$ (m <sup>-1</sup> )	$M_u$ (KN.m)	$\varphi_u$ (m <sup>-1</sup> )	$\theta_{p.u}$ (rad)	$M_E$ (KN.m)
75.8	0.0226	95.17	0.302	0.01135	23.835
75.8	0.0226	95.17	0.302	0.0516	23.835
75.8	0.0226	95.17	0.302	0.01015	23.835

Tableau IV.10 : Moments et rotations élastiques et ultimes (poteaux)

Remarque:

Selon le FEME356[18] :

La valeur de la rotation au point **E** (perte définitive de la résistance de l'élément) est donnée par la formule suivante :

$$\theta_E = \theta_p + 0,01$$

Et par conséquent,  $\varphi_E = \varphi_p + 0,01$  (pour les lois moment-courbure)

- **Calcul de la longueur des rotules plastiques :**

Selon Priestley [ ] les longueurs de la rotule plastique est donnée par la formule suivantes:

$$L_p = 0.08H + 0.022f_y d_{bl}$$

Avec :

H : La hauteur du poteau.

$f_y$  : La contrainte de plastification des aciers.

$d_{bl}$  : Le diamètre des barres de flexion.

$\varphi_u$  et  $\varphi_y$ : Les courbures ultimes et de début de plastification

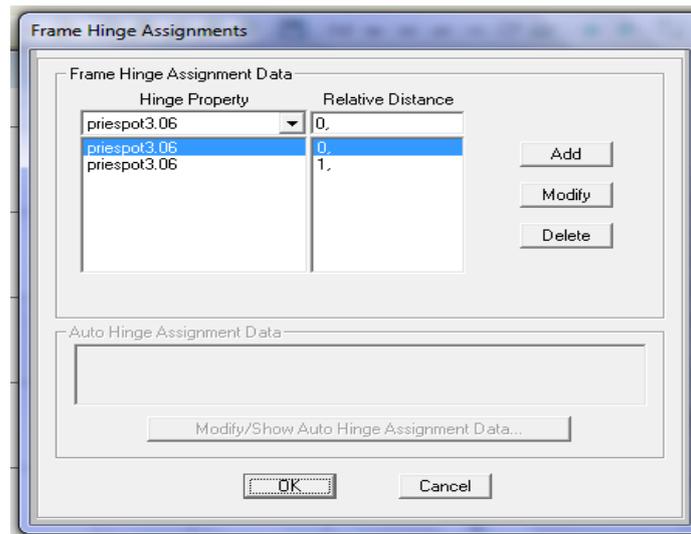
Le tableau suivant donne les valeurs des longueurs plastiques des poteaux et des poutres de la structure

<b>Poutres principales</b>	<b>L(m)</b>	<b>2,40</b>	<b>4,70</b>	<b>2,8</b>	<b>4,0</b>
	<b>LP(m)</b>	<b>0,2976</b>	<b>0,4816</b>	<b>0,3290</b>	<b>0,4250</b>
<b>Poutres secondaires</b>	<b>L(m)</b>	<b>3,10</b>	<b>4,30</b>	<b>∟</b>	<b>∟</b>
	<b>LP(m)</b>	<b>0,3536</b>	<b>0,450</b>	<b>∟</b>	<b>∟</b>
<b>Poteaux</b>	<b>L(m)</b>	<b>0,8</b>	<b>3,06</b>	<b>3,6</b>	<b>∟</b>
	<b>LP(m)</b>	<b>0,1872</b>	<b>0,368</b>	<b>0,4112</b>	<b>∟</b>

**Tableau IV.11** : Moments et rotations élastiques et ultimes (poteaux)

### IV.3.2 Introduction des rotules plastiques:

Les valeurs des rapports (0) et (1) qui correspondent aux extrémités des poutres et des poteaux (Nœud). (Voir figure IV.12)

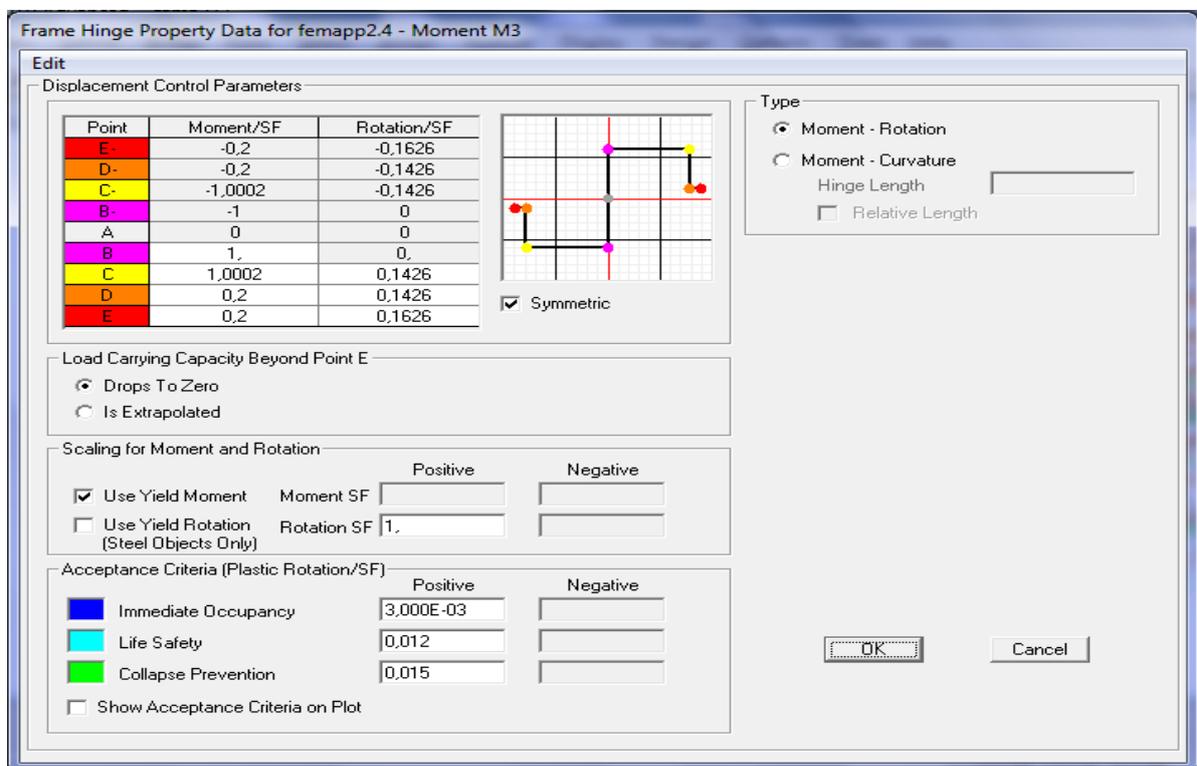


**Figure IV.12 :** Introduction des rotules plastiques

### IV.3.3 Modification de la loi de comportement des rotules plastique :

Dans cette partie du travail, deux analyses seront effectuées en introduisant deux lois de comportement différentes à savoir :

- La loi de comportement proposée par le FEMA356 [18], (voir figure IV.13).
- La loi de comportement proposée par Priestley [11], (voir figure IV.14).



**Figure IV.13 :** Loi de comportement proposée par le FEMA356

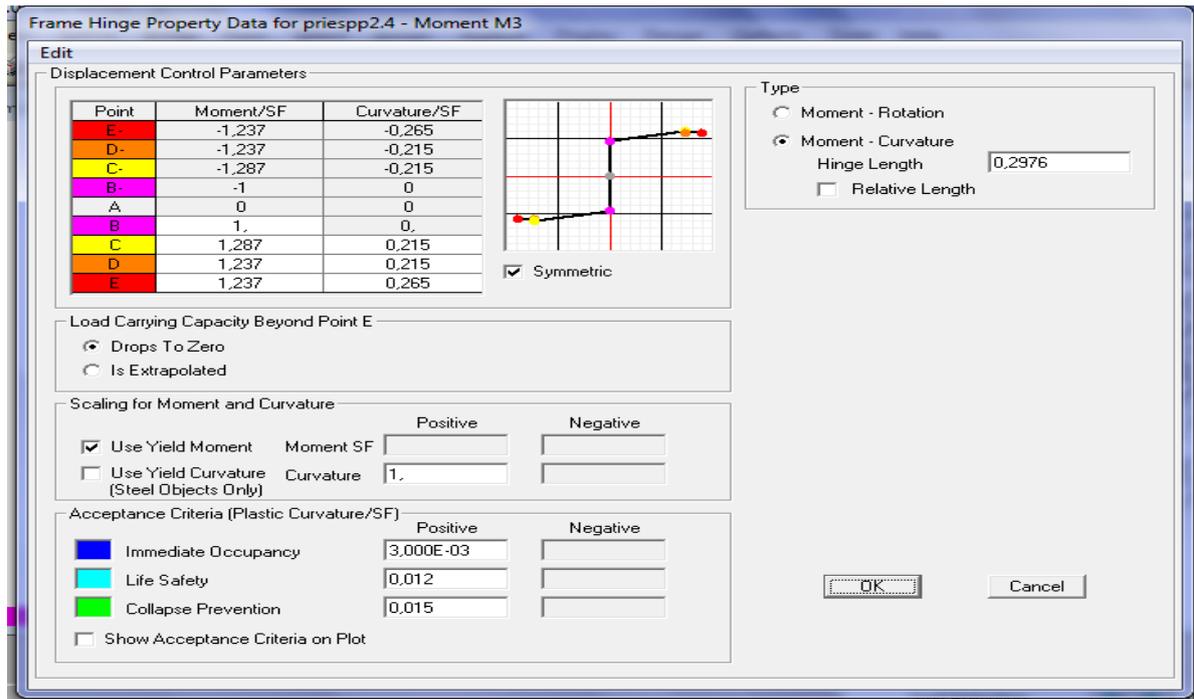


Figure IV.14 :Loi de comportement proposée par Priestley

#### IV.3.4 Résultats et discussions :

##### IV.3.4.1 Les courbes de capacité:

Les courbes Push over déduites du calcul numérique par les deux approches (par défaut et par formulations analytiques), sont représentés dans la figure ci- dessous dans le sens(x-x):

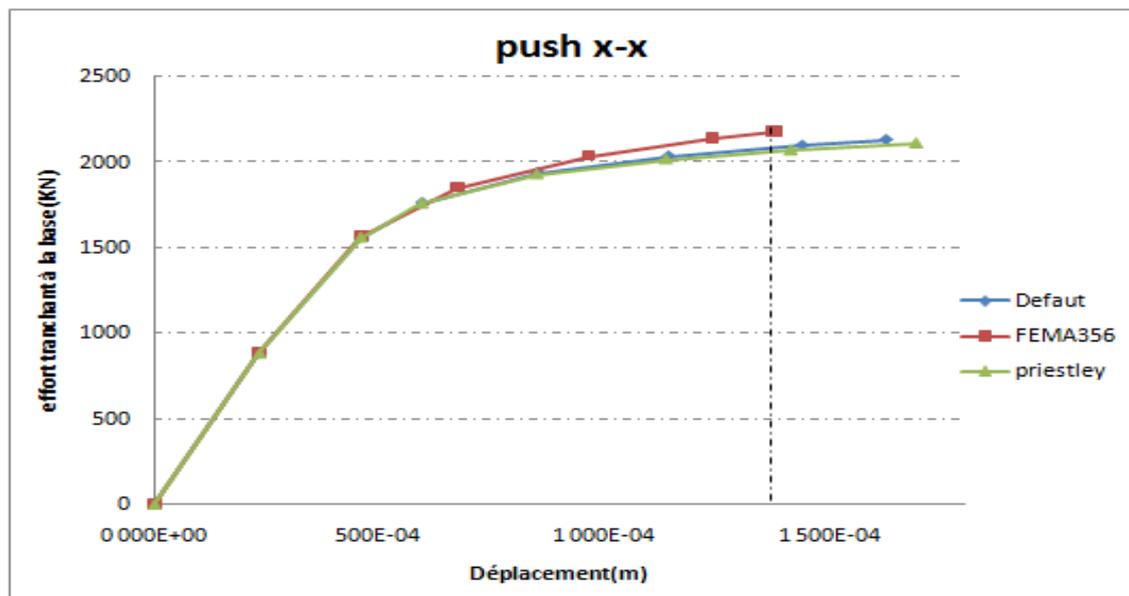


Figure IV.15:comparaison entre lesCourbesde capacité (sens x-x).

Le tableau ci-dessous résume les résultats de l'analyse Push over dans la direction (x-x) à l'état limite élastique et à l'état ultime pour les deux approches (par défaut et par formulations analytiques).

	Etat élastique		Etat post-élastique	
	Vy(KN.m)	dy(m)	Vu(KN.m)	du(m)
Défaut	1562,149	0,045748	2036,678	0,113936
FEMA356	1562,149	0,045748	2141,056	0,113936
Priestley	1562,149	0,045748	2017,850	0,113936

Tableau IV.12: Résultats de l'analyse Push over de la structure initiale par sens x-x

Les courbes Push over déduites du calcul numérique par les deux approches (par défaut et par formulations analytiques), sont représentés dans la figure ci-dessous dans le sens(y-y):

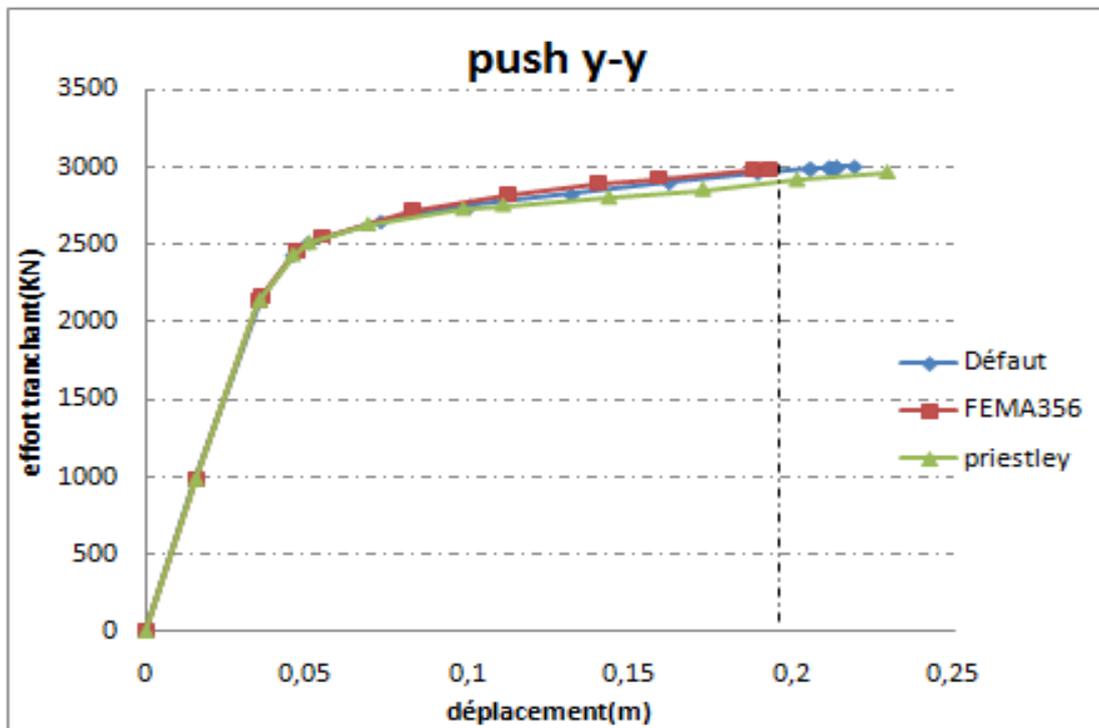


Figure IV.16 : Comparaison entre les Courbes de capacité (sens y-y).

Le tableau ci-dessous résume les résultats de l'analyse Push over dans la direction (y-y) à l'état limite élastique et à l'état ultime pour les deux approches (par défaut et par formulations analytiques).

	Etat élastique		Etat post-élastique	
	Vy(KN.m)	dy (m)	Vu(KN.m)	du(m)
<b>Défaut</b>	<b>2098,682</b>	<b>0,143652</b>	<b>2989,984</b>	<b>0,205759</b>
<b>FEMA356</b>	<b>2182,073</b>	<b>0,138032</b>	<b>2978,969</b>	<b>0,205759</b>
<b>Priestley</b>	<b>2069,417</b>	<b>0,141153</b>	<b>2914,170</b>	<b>0,205759</b>

**Tableau IV.13:** Résultats de l'analyse Push over de la structure initiale par sens y-y

**Commentaires:**

Les résultats de la modélisation non linéaire en 3D montrent que selon les trois lois de comportements utilisés nous permet a faire les constatations suivantes:

- Dans la phase élastique, Les trois courbes de capacité sont confondues. Par contre celles résultantes de la phase inélastique montrent un écart peu important entre les trois méthodes et reflète des efforts tranchants différents à la base pour la même valeur de déplacement (sens xx).
- La structure pénètre dans le domaine plastique selon (y-y) plus rapidement par rapport au sens (x-x) pour les trois méthodes.
- La méthode Priestley conduit à une rigidité moins élevée et des valeurs d'effort tranchant à la base moins importantes dans les deux directions par rapport aux autres méthodes qui ont nous données la même phase plastique (sens yy).

**IV-3.4.2 Apparition des rotules plastiques:**

Les séquences de formation des rotules plastiques dans les poteaux et les poutres seront exposées ci-dessous pour les deux directions (xx) et (yy) en tenant en compte les deux approches de modélisation effectuées précédemment.

**IV-3.4.2.1 Sens x-x:**

Le développement des rotules plastiques dans le cas par défaut est représenté sur les figures (IV.17) et (IV.18). Pour ce qui est du FEMA356, les formations des rotules plastiques sont illustrées sur les figures (IV.19) et (IV.20). Alors que, concernant la méthode Priestley, les rotules développées sont représentées sur les figures (IV.21) et (IV.22)

**1-Par défaut :**

**La première apparition de rotule plastique :**

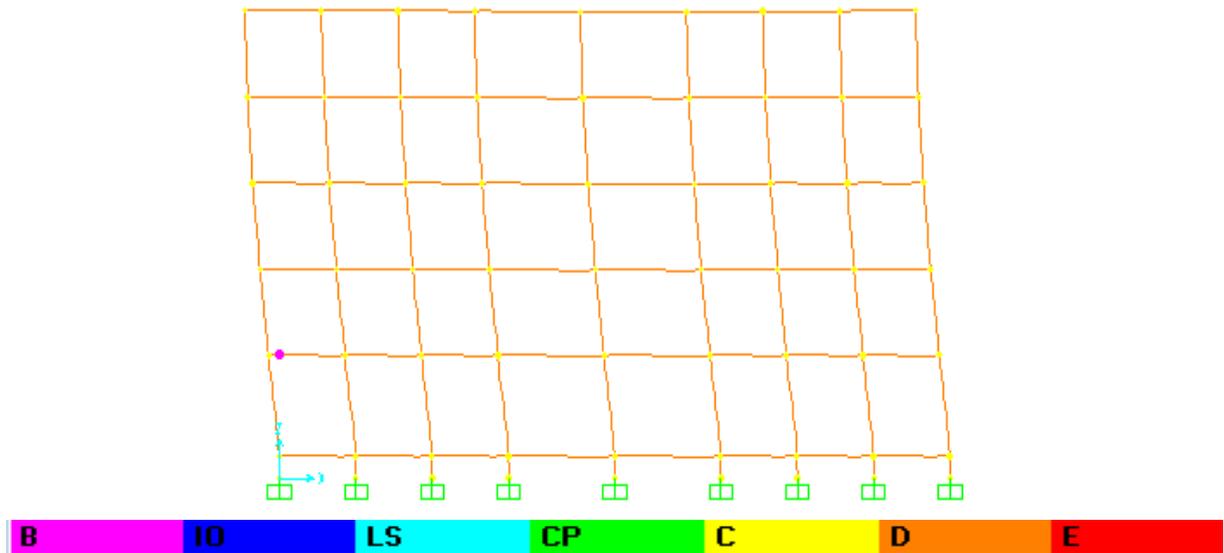


Figure IV.17 : Vue d'élévation – 5 déformée (push x-Step1)

**Formation des rotules plastiques a la fin de l'analyse**

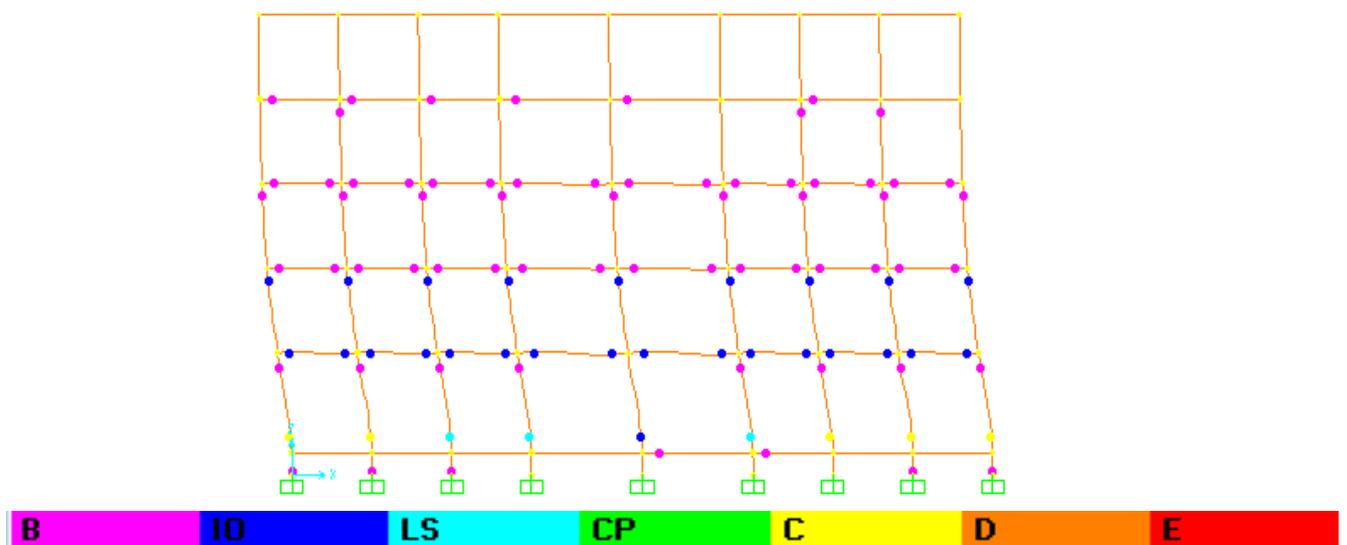


Figure IV.18 : Vue d'élévation – 5 déformée (push x-Step7)

**2-Par la méthode FEMA356 :**

**La première apparition de rotule plastique :**

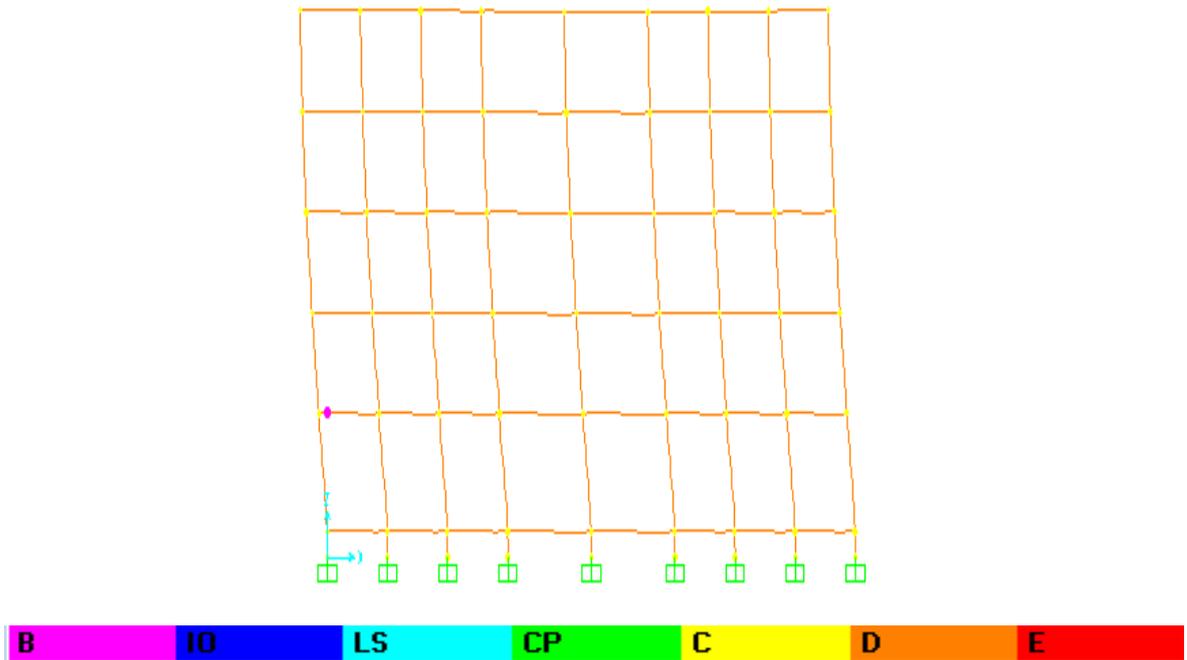


Figure IV.19 : Vue d'élévation – 5 déformée (push x-Step1)

**Formation des rotules plastiques a la fin de l'analyse :**

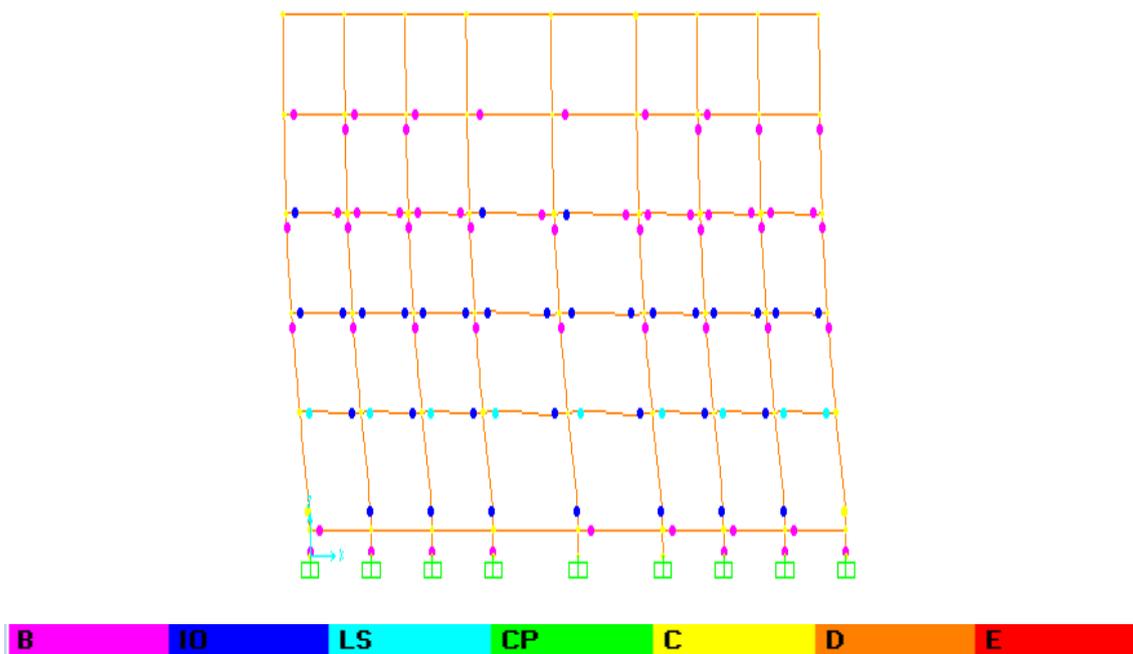


Figure IV.20 : Vue d'élévation – 5 déformée (push x-Step9)

### 3-Par la méthode de Priestley :

Première apparition de rotule plastique :

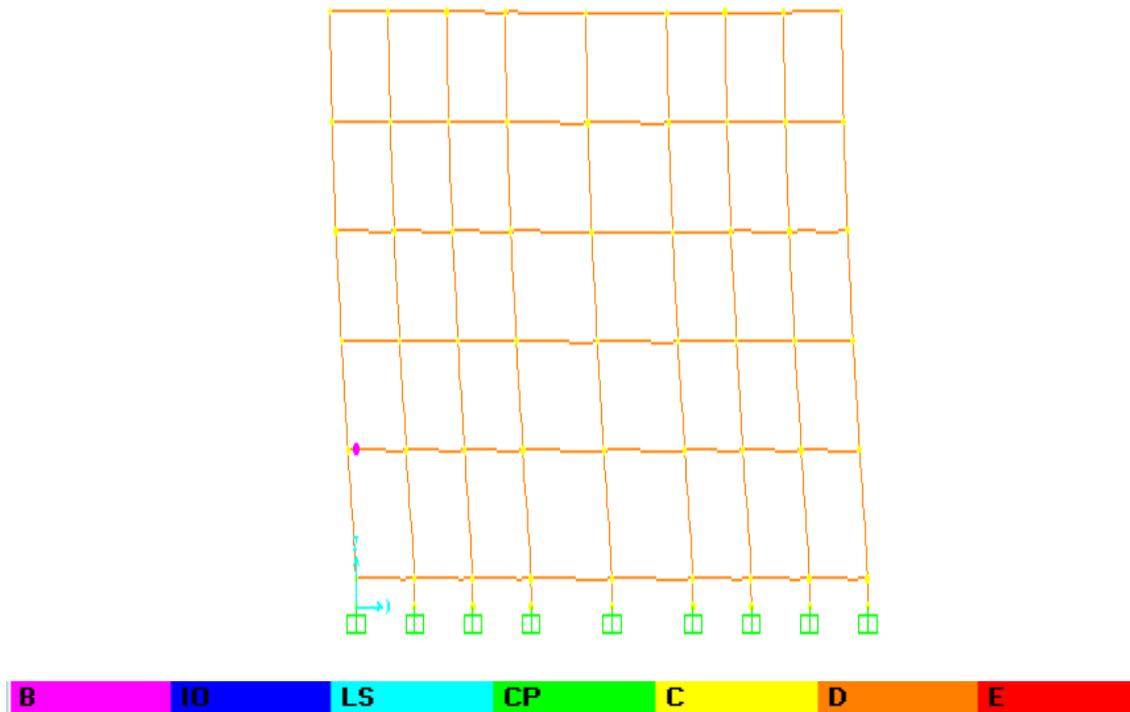


Figure IV.21 : Vue d'élévation – 5 déformée (push x-Step1)

Formation des rotules plastiques a la fin de l'analyse :

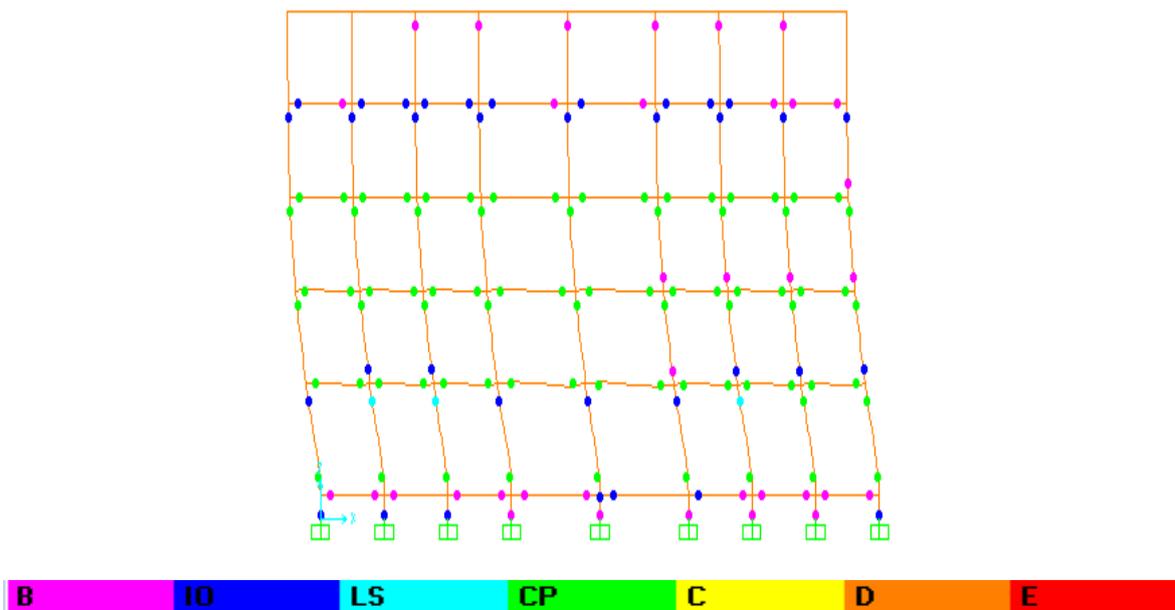


Figure IV.22 : Vue d'élévation – 5 déformée (push x-Step30)

L'apparition des premières et des dernières rotules plastiques sont résumées dans le tableau IV.14.

	Step	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Total
		B	IO	LS	CP	C	D	E		
<b>Par défaut</b>	0	1308	0	0	0	0	0	0	0	1308
	1	1307	1	0	0	0	0	0	0	1308
	7	871	340	88	3	0	6	0	0	1308
	step	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Total
		B	IO	LS	CP	C	D	E		
<b>FEMA356</b>	0	1380	0	0	0	0	0	0	0	1308
	1	1307	1	0	0	0	0	0	0	1308
	9	872	252	173	9	0	2	0	0	1308
	step	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Total
		B	IO	LS	CP	C	D	E		
<b>Priestley</b>	0	1308	0	0	0	0	0	0	0	1308
	1	1307	1	0	0	0	0	0	0	1308
	30	587	138	146	34	403	0	0	0	1308

**Tableau IV.14:** Séquences de formation des rotules plastiques dans le sens xx (1<sup>er</sup> et dernier pas)

#### IV-3.4.2.2 Sens y-y:

Le développement des rotules plastiques dans le cas par défaut est représenté sur les figures (IV.23) et (IV.24). Pour ce qui est du FEMA356, les formations des rotules plastiques sont illustrées sur les figures (IV.25) et (IV.26). Alors que, concernant la méthode Priestley, les rotules développées sont représentées sur les figures (IV.27) et (IV.28).

**1-Par défaut :**

**La première apparition des rotules plastiques :**

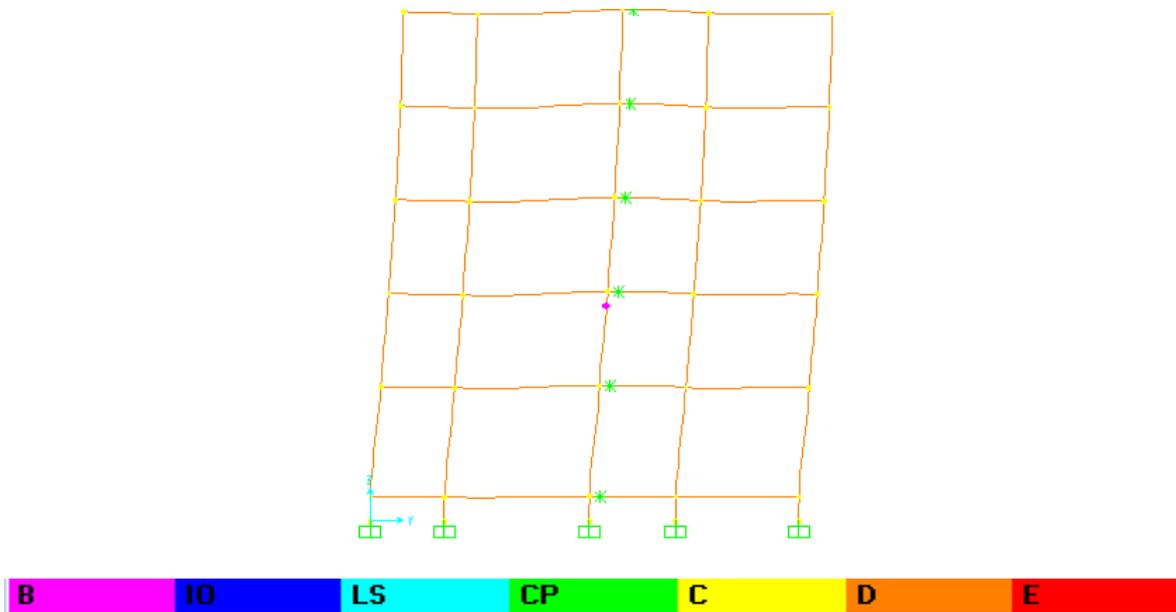


Figure IV.23 : Vue d'élévation – Edéformée (pushyy-Step1)

**Formation des rotules plastiques a la fin de l'analyse :**

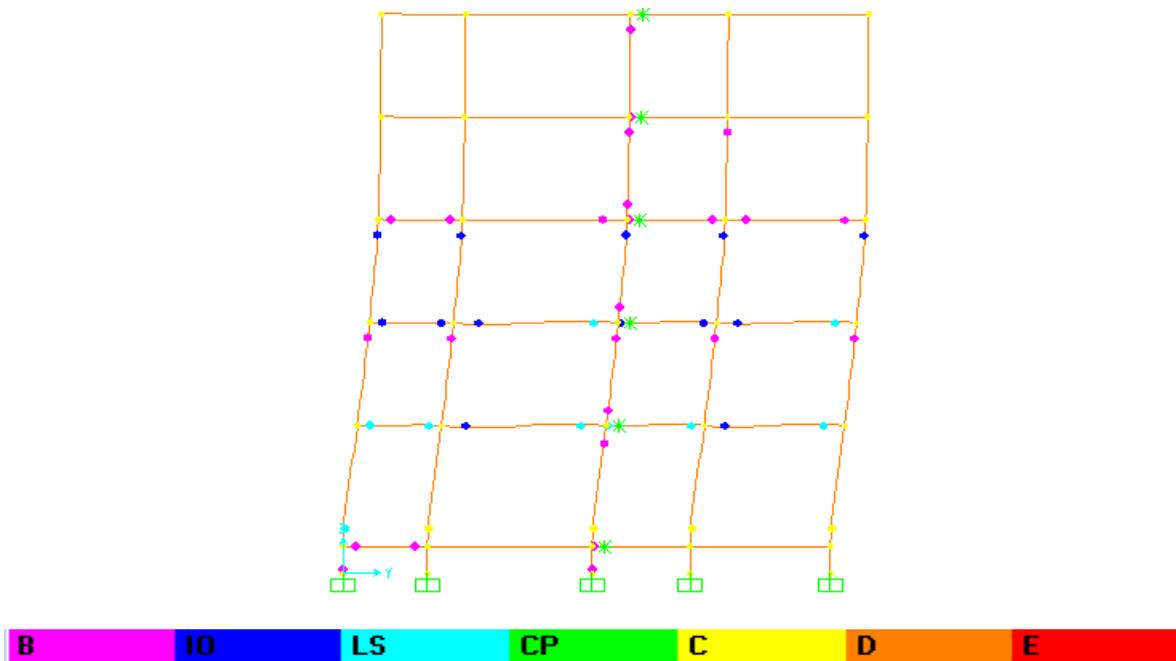


Figure IV.24 : Vue d'élévation – Edéformée (pushyy-Step22)

2-Par la méthode FEMA356 :

La première apparition des rotules plastiques :

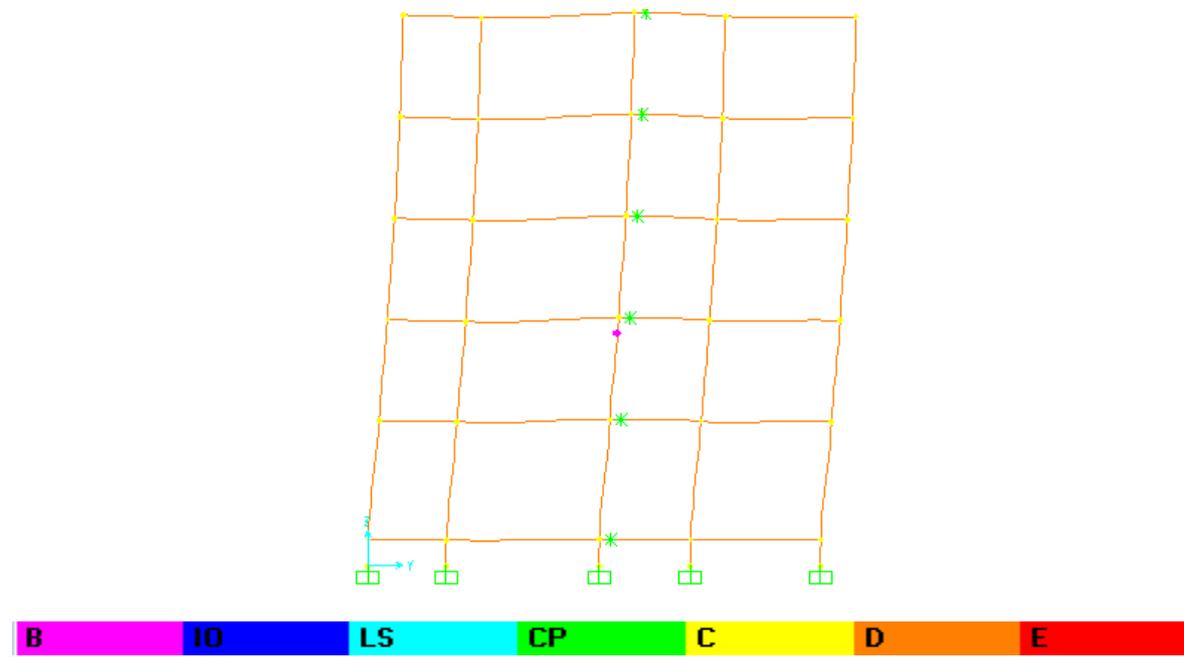


Figure IV.25 : Vue d'élévation – Edéformée (push yy-Step1)

Formation des rotules plastiques a la fin de l'analyse :

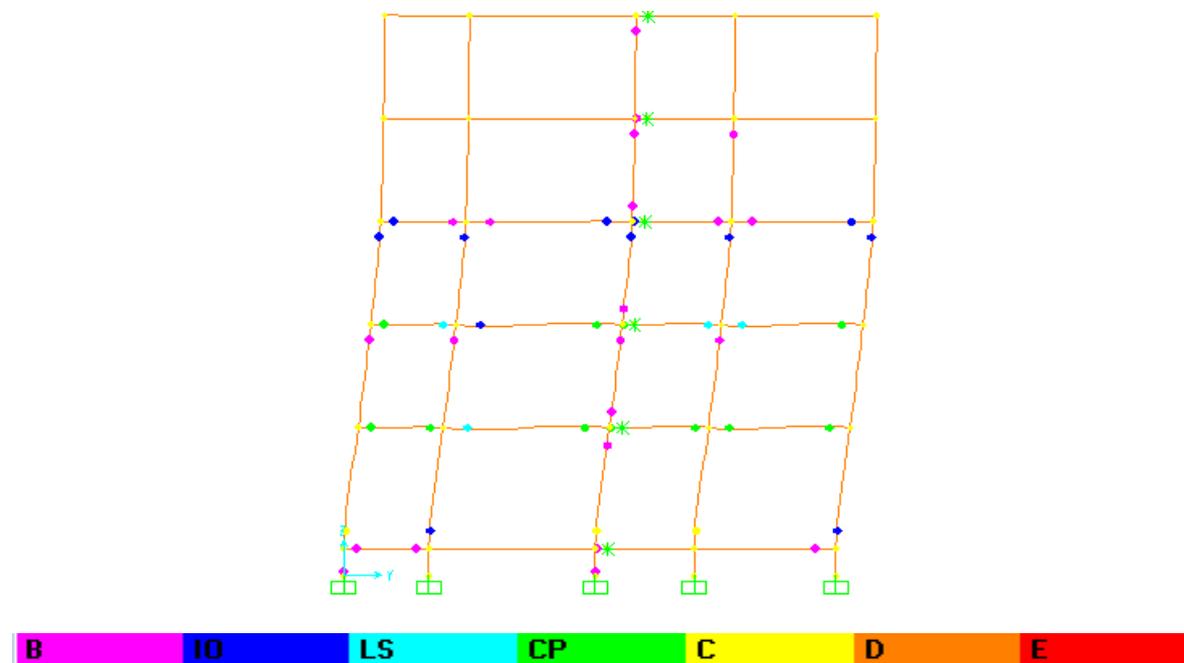


Figure IV.26 : Vue d'élévation – Edéformée (push yy-Step18)

3-Par la méthode de Priestley :

La première apparition des rotules plastiques :

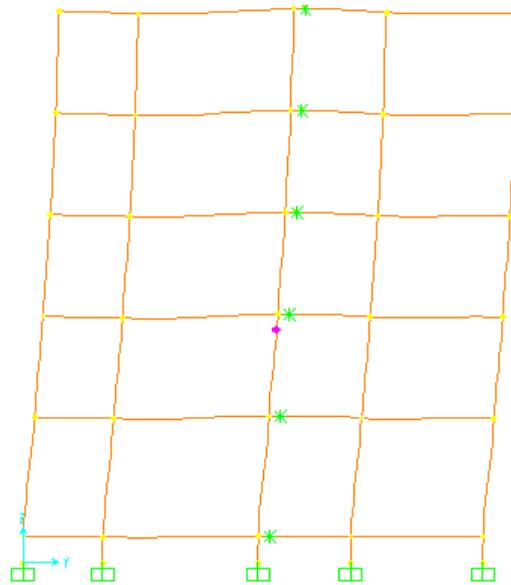


Figure IV.27 : Vue d'élévation – Edéformée (push yy-Step2)

Formation des rotules plastiques a la fin de l'analyse :

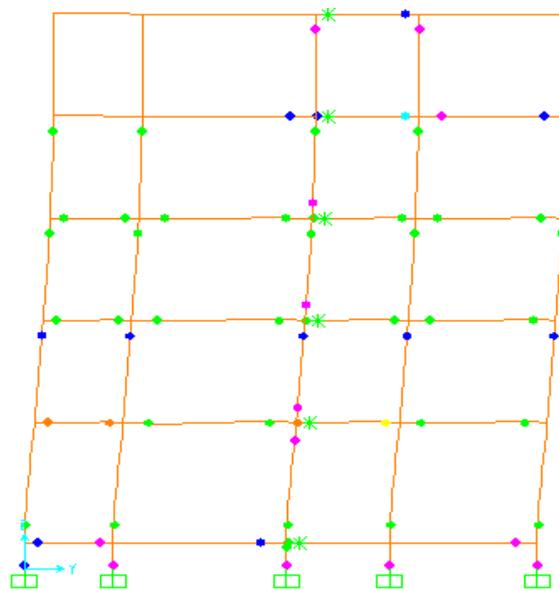


Figure IV.28 : Vue d'élévation – E déformée (push yy-Step22)

L'apparition des premières et des dernières rotules plastiques sont résumées dans le tableau IV.14.

	Ste	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Tota
	p	B	IO	LS	CP	C	D	E		l
Par défaut	0	1308	0	0	0	0	0	0	0	1308
	1	1307	1	0	0	0	0	0	0	1308
	22	946	152	115	60	0	35	0	0	1308
FEMA356	0	1380	0	0	0	0	0	0	0	1308
	1	1307	1	0	0	0	0	0	0	1308
	18	948	125	76	60	75	24	0	0	1308
Priestley	0	1308	0	0	0	0	0	0	0	1308
	1	1307	1	0	0	0	0	0	0	1308
	28	806	104	80	1	289	17	11	0	1308

Tableau IV.15: Séquences de formation des rotules plastiques dans le sens yy (1<sup>er</sup> et dernier pas)

**Commentaires:**

**L'analyse push over Dans le sens x-x:**

D'après l'analyse suivant le sens x-x pour chaque méthode, on remarque :

-la première apparition des rotules plastique de type B dans les poteaux et les poutres est la même pour les trois méthodes (fin de la phase élastique).

-Concernant la modélisation par défaut, l'apparition des rotules plastiques atteint l'événement LS et C dans les poteaux seulement, au niveau du premier étage.

On ce qui concerne la méthode FEMA356, l'apparition des rotules plastiques atteint l'événement C dans les poteaux et l'événement LS dans les poutres au niveau du premier étage qui ne causeront pas un grand dommage.

Alors pour la méthode proposée par Priestley, l'apparition des rotules plastiques atteint l'événement CP dans les poteaux et les poutres au niveau des trois premiers étages.

-La formation des rotules plastiques dans la structure montrent clairement que le bâtiment subira de grands dégâts.

**L'analyse push over Dans le sens y-y:**

- On constat bien que la structure est plus vulnérable dans le sens (y-y) vue que la capacité de résistance dans ce sens est moins que celle dans le sens (x-x).

-la première apparition des rotules plastique de type B dans les poteaux et les poutres est la même pour les trois méthodes (fin de la phase élastique).

-la dernière apparition des rotules plastique de type :

Par défaut : dans les poteaux seulement, au niveau du premier étage, les rotules plastiques atteint l'événement C.

Méthode FEMA356 : la formation des rotules plastique atteint l'événement C dans les poteaux au niveau du premier étage et poutres l'événement CP au niveau des deux premiers étages.

Méthode de Priestley : dans les poteaux et les poutres au niveau des trois premiers étages. La formation de rotules dans la structure montre clairement que le bâtiment original subira de grands dégâts. les poutres du premier étage atteint l'événement D au niveau du premier étage et l'événement CP dans les trois premiers étages et les poteaux ont des rotules plastiques de type CP au niveau du premier , troisième et quatrième étage

Pour les deux méthodes, par défaut et FEMA356, les étages supérieurs restent stables et n'ont subi a aucun état dommage, par contre la méthode de Priestley , les étages supérieures subissaient beaucoup de déformation.

**Conclusion:**

D'après les résultats obtenus, on conclut:

-Les méthodes basées sur les déformations permettent de cerner le comportement sismique des structures d'une manière plus réaliste. Pour des bâtiments existants, elles mènent en général à une appréciation de la sécurité parasismique d'une manière plus favorable. En résumé, cette étude explique les aspects les plus importants de ces méthodes.

-L'application de ces méthodes basée sur les déformations est récente dans les pays exposés à un aléa sismique modéré comme l'Algérie et l'expérience en la matière est encore limitée.

-Néanmoins, la mise en pratique de ces méthodes fournira dans les années à venir les bases nécessaires pour vérifier et améliorer le comportement des bâtiments.