



### V.1. Introduction :

Le calcul parasismique a pour but l'estimation des valeurs caractéristiques les plus défavorables de la réponse sismique et le dimensionnement des éléments de résistance. Afin d'obtenir une sécurité jugée satisfaisante pour l'ensemble de l'ouvrage et d'assurer le confort des occupants. L'estimation des forces d'origine sismique agissantes sur la structure pendant un séisme constitue le problème majeur de génie parasismique connaissant l'intensité de la loi de variation dans le temps de ces forces, le concepteur pourrait dimensionner les ouvrages en leur assurant une sécurité optimale. Plusieurs conceptions parasismiques et diverses méthodes de calcul ont été proposées parmi lesquelles on distingue deux méthodes très couramment utilisées :

- Méthode statique équivalente
- Méthode dynamique (modale spectrale).

#### V.1.1. CALCUL SISMIQUE :

C'est le calcul de la réponse sismique et la répartition des efforts dans les différents éléments de la structure, On distingue essentiellement deux méthodes d'analyse:

**1. Analyse statique équivalente :** Pour les bâtiments réguliers et moyennement réguliers, on peut simplifier les calculs en ne considérant que le premier mode de la structure (mode fondamental). Le calcul statique a pour but de se substituer au calcul dynamique plus compliqué en ne s'intéressant qu'à produire des effets identiques.

**2. Analyse modale spectrale :** peut être utilisée dans tous les cas, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise. On utilise directement les spectres de dimensionnement puisque ce sont surtout les maxima des réponses qui intéressent le concepteur et non la variation temporelle. Elle permet de simplifier les calculs. On procède alors à une analyse modale en étudiant un certain nombre de modes propres de la structure.

### V.2. Méthode de calcul :

Pour l'évaluation des forces sismiques, on utilise le logiciel « SAP2000 V14.0.0 Advanced.» qui contient différentes méthodes de calcul sismique (Response Spectrum Function; Time History Function...)

Pour notre cas, on a choisie « Response Spectrum Function» qui est basée sur la méthode dynamique modale spectrale qui prend en compte la réponse de la structure suivant les modes déterminés en se basant sur les hypothèses suivantes:

- Masse supposée concentrée au niveau des nœuds principaux (nœud maître).
- Seul les déplacements horizontaux sont pris en compte.
- Les planchers et les fondations sont considérés rigides dans leur plan.





-Le nombre des modes à prendre en compte est tel que la somme des coefficients de participation modale soit au moins égale à 90%.

**V.2.1. Évaluation des efforts sismiques :**

Pour la détermination de la fonction du spectre de réponse on utilise le programme « spectre » qui permet de donner les valeurs du spectre de réponse en fonction des périodes.

L'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant

$$: \frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1,25A \left[ 1 + \frac{T}{T_1} \left( 2,5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right] & \text{si } 0 \leq T \leq T_1 \\ 2,5\eta (1,25A) \left( \frac{Q}{R} \right) & \text{si } T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta (1,25A) \left( \frac{Q}{R} \right) \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & \text{si } T_2 \leq T \leq 3,0\text{sec} \\ 2,5\eta (1,25A) \left( \frac{T_2}{3,0} \right)^{2/3} \left( \frac{3}{T} \right)^{5/3} \left( \frac{Q}{R} \right) & \text{si } T > 3,0\text{sec} \end{cases}$$

Avec :  $\frac{\delta_a}{g}$  : Spectre de Réponse de calcul.

A : Coefficient d'accélération de zone.

$\eta$  : Facteur de correction d'amortissement (quant l'amortissement est différent de 5%)

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0,7$$

$\xi$  : pourcentage d'amortissement critique .

Q : Facteur de qualité.

$T_1, T_2$  : périodes caractéristiques associées à la catégorie du site.

-Sol meuble  $\Rightarrow$  site 3 donc  $T_1 = 0,15$  sec et  $T_2 = 0,5$  sec.

D'après le R.P.A 99 (version 2003) , on a :

$$\left. \begin{array}{l} \text{-Zone sismique III} \\ \text{-Groupe d'usage 2} \end{array} \right\} \Rightarrow (A = 0,25)$$

$$\xi = 7\% - \begin{cases} \text{-Portique en béton armé.} \\ \text{-Remplissage dense.} \end{cases}$$

$$\eta = \sqrt{7/(2 + 7)} = 0,88 \geq 0,7$$

R : Coefficient de comportement de la structure.

-Pour un système de contreventement mixte portiques/voiles : R = 5.

Q :le facteur de qualité de la structure est fonction de :





- 1-Conditions minimales sur les files de contreventement.
  - 2-redondance en plan.
  - 3-régularité en élévation.
  - 4-régularité en plan.
  - 5-contrôle de qualité de matériaux.
  - 6-contrôle de qualité de l'exécution.
- $Q_y = 1 + \sum Pq = 1 + (0,05 + 0,00 + 0,05 + 0,05 + 0,05 + 0,00) = 1,25.$
- $Q_x = 1 + \sum Pq = 1 + (0,00 + 0,00 + 0,05 + 0,05 + 0,05 + 0,00) = 1,15.$

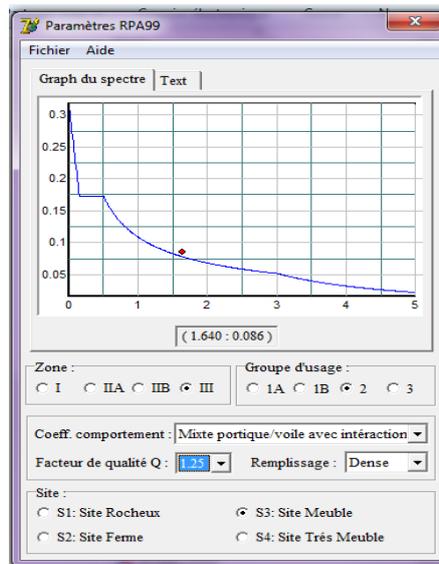


Figure V.1 : Le graphe de spectre de repense RPA

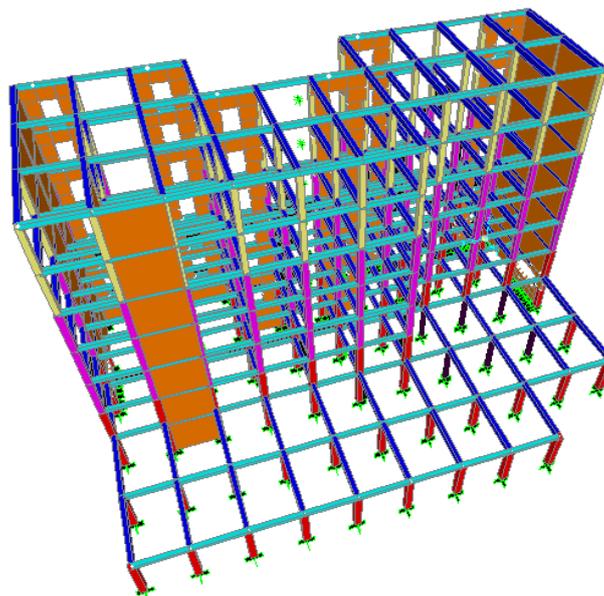


Figure V.2 : Vue 3d de la structure



**V.2.2 Calcul du chargement des portiques :**sens longitudinal " poutre principale " (45x30)cm<sup>2</sup>**1) Les Portique de rive**

$$L_1/2 = 3.43/2 = 1,71\text{m}$$

$$L_2/2 = 3.33/2 = 1,66\text{ m}$$

$$L_3/2 = 3.45/2 = 1.72\text{ m}$$

$$L_4/2 = 3.58/2 = 1.79\text{ m}$$

$$L_5/2 = 3.55/2 = 1.77\text{ m}$$

**Tableau V.1** Chargement des portiques de rive (sens longitudinal) **$L_1/2 = 3.43/2 = 1,71\text{m}$** 

Niveau	Charge $G_i$ ( kN/m )	$G_T$ (kN/m)	$Q_T$ (kN/m)
Terrasse	Acrotère : 1,71 kN/m Plancher : $6,48 \times 1,71 = 11,081\text{kN/m}$ Poutres : $0.3 \times 0,3 \times 25 = 2,25\text{ kN /m}$	15,04	1,71
Du 1 <sup>er</sup> étage au 6 <sup>ème</sup> étage	Plancher : $5,10 \times 1,71 = 8,72\text{kN/m}$ Poutres : : $0.3 \times 0,3 \times 25 = 2,25\text{ kN/m}$ Mur extérieur: $2,62 \times 0,7 \times 3,24 - 0.45 = 5.12\text{kN/m}$	16,09	2,56

 **$L_2/2 = 3.33/2 = 1,66\text{ m}$** 

Niveau	Charge $G_i$ ( kN/m )	$G_T$ (kN/m)	$Q_T$ (kN/m)
Terrasse	Acrotère :1,71 kN/m Plancher : $6,48 \times 1,66 = 10,761\text{kN/m}$ Poutres : $0.3 \times 0,3 \times 25 = 2,25\text{ kN /m}$	14,7	1,66
Du 1 <sup>er</sup> étage au 6 <sup>ème</sup> étage	Plancher : $5,10 \times 1,66 = 8,47\text{kN/m}$ Poutres : : $0.3 \times 0,3 \times 25 = 2,25\text{ kN/m}$ Mur extérieur: $2,62 \times 0,7 \times 3,24 - 0.45 = 5.12\text{kN/m}$	15,84	2,5





$L_3/2=3.45/2=1.72 \text{ m}$

Niveau	Charge $G_i$ ( kN/m )	$G_T$ ( kN/m )	$Q_T$ ( kN/m )
Terrasse	Acrotère :1,71 kN/m Plancher : 6,48x1,72= 11.14 kN/m Poutres : 0.3x0,3x25 = 2,25 kN /m	15.1	1.72
Du 1 <sup>er</sup> étage au 6 <sup>ème</sup> étage	Plancher : 5,10x1,72= 8,77kN/m Poutres : : 0.3x0,3x25 = 2,25 kN/m Mur extérieur: 2,62x0,7x3 ,24-0.45=5.12kN/m	16.14	2,58

$L_4/2=3.58/2=1.79 \text{ m}$

Niveau	Charge $G_i$ ( kN/m )	$G_T$ ( kN/m )	$Q_T$ ( kN/m )
Terrasse	Acrotère :1,71 kN/m Plancher : 6,48x1,79= 11,60kN/m Poutres : 0.3x0,3x25 = 2,25 kN /m	15,55	1,79
Du 1 <sup>er</sup> étage au 6 <sup>ème</sup> étage	Plancher : 5,10x1,79= 9,13kN/m Poutres : : 0.3x0,3x25 = 2,25 kN/m Mur extérieur: 2,62x0,7x3 ,24-0.45=5.12kN/m	16,50	2,68

$L_5/2=3.55/2=1.77 \text{ m}$

Niveau	Charge $G_i$ ( kN/m )	$G_T$ ( kN/m )	$Q_T$ ( kN/m )
Terrasse	acrotère :1,71 kN/m plancher : 6,48x1,77= 11,50kN/m poutres : 0.3x0,3x25 = 2,25 kN /m	15,46	1,77
Du 1 <sup>er</sup> étage au 6 <sup>ème</sup> étage	plancher : 5,10x1,77= 9,03 kN/m poutres : : 0.3x0,3x25 = 2,25 kN/m mur extérieur: 2,62x0,7x3,24-0.45=5.21kN/m	16,40	2,65





2) Portique intermédiaire :

Tableau V.2 Chargement des portiques intermédiaires (sens longitudinal)

**L = 3,45m**

Niveau	$G_i$ (kN/m)	$G_T$ (kN/m )	$Q_T$ (kN/m )
Terrasse	Plancher : $6,48 \times 3,45 = 22,36 \text{ kN/m}$ Poutres : $0,3 \times 0,3 \times 25 = 2,25 \text{ kN/m}$ .	24,61	3,45
Du 1 <sup>er</sup> étage au 6 <sup>ème</sup> étage	Plancher : $5,10 \times 3,45 = 17,59 \text{ kN/m}$ Poutre : $0,3 \times 0,3 \times 25 = 2,25 \text{ kN/m}$ .	19,84	5,17

**L = 3,51m = (3.45/2+3.58/2)**

Niveau	$G_i$ (kN/m)	$G_T$ (kN/m )	$Q_T$ (kN/m )
Terrasse	Plancher : $6,48 \times 3,51 = 22,74 \text{ kN/m}$ Poutres : $0,3 \times 0,3 \times 25 = 2,25 \text{ kN/m}$ .	24,7	0,35
Du 1 <sup>er</sup> étage au 6 <sup>ème</sup> étage	Plancher : $5,10 \times 3,51 = 17,90 \text{ kN/m}$ Poutre : $0,3 \times 0,3 \times 25 = 2,25 \text{ kN/m}$ .	20,15	0,53

**L = 3,50m = (3.43/2+3.58/2)**

Niveau	$G_i$ (kN/m)	$G_T$ (kN/m )	$Q_T$ (kN/m )
Terrasse	Plancher : $6,48 \times 3,50 = 22,68 \text{ kN/m}$ Poutres : $0,3 \times 0,3 \times 25 = 2,25 \text{ kN/m}$ .	24,9	3,5
Du 1 <sup>er</sup> étage au 6 <sup>ème</sup> étage	Plancher : $5,10 \times 3,50 = 17,85 \text{ kN/m}$ Poutre : $0,3 \times 0,3 \times 25 = 2,25 \text{ kN/m}$ .	20,1	5,25

**L = 3,49m = (3.43/2+3.55/2)**

Niveau	$G_i$ (kN/m)	$G_T$ (kN/m )	$Q_T$ (kN/m )
Terrasse	Plancher : $6,48 \times 3,49 = 22,61 \text{ kN/m}$ Poutres : $0,3 \times 0,3 \times 25 = 2,25 \text{ kN/m}$ .	24,9	3,5
Du 1 <sup>er</sup> étage au 6 <sup>ème</sup> étage	Plancher : $5,10 \times 3,49 = 17,80 \text{ kN/m}$ Poutre : $0,3 \times 0,3 \times 25 = 2,25 \text{ kN/m}$ .	20,0	5,2





$$L = 3,55\text{m} = (3.55/2 + 3.55/2)$$

Niveau	$G_i$ (kN/m)	$G_T$ (kN/m)	$Q_T$ (kN/m)
Terrasse	Plancher : $6,48 \times 3,55 = 23,00 \text{ kN/m}$ Poutres : $0,3 \times 0,3 \times 25 = 2,25 \text{ kN/m}$	25,2	3,5
Du 1 <sup>er</sup> étage au 6 <sup>ème</sup> étage	Plancher : $5,10 \times 3,55 = 18,10 \text{ kN/m}$ Poutre : $0,3 \times 0,3 \times 25 = 2,25 \text{ kN/m}$	20,3	5,3

**Sens transversal :** " poutre secondaire " (30x30) cm<sup>2</sup>

### 1) portique de rive :

**Tableau V.3.** Chargement des portiques de rive (sens transversal)

Niveau	Charge $G_i$ ( KN/m )	$G_T$ (kN/m)
Terrasse	Acrotère : 1,71kN/m Poutres : $0,45 \times 0,3 \times 25 = 3.37 \text{ kN/m}$	5.08
Du 1 <sup>er</sup> étage au 6 <sup>ème</sup> étage	Poutres : $0,45 \times 0,3 \times 25 = 3.37 \text{ kN/m}$ Mur extérieur: $2,62 \times 0,7 \times 3,24 - 0,45 = 5.12 \text{ kN/m}$ .	8,12

**Tableau V.4.** Chargement des portiques intermédiaires (sens transversal)

Niveau	Charge $G_i$ ( KN/m )	$G_T$ (kN/m)
Terrasse	Poutres : $0,45 \times 0,3 \times 25 = 3.37 \text{ kN/m}$	3.37
Du 1 <sup>er</sup> étage au 6 <sup>ème</sup> étage	Poutres : $0,45 \times 0,3 \times 25 = 3.37 \text{ kN/m}$	3.37

Voiles	Charge $G_i$ ( KN/m )	$G_T$ (kN/m)
Étages courants	$\gamma \times h_m \times a = 25 \times 2.84 \times 0.2$	14.2
RDC	$\gamma \times h_m \times a = 25 \times 3.02 \times 0.2$	15.1

### V.3. Calcul des poids de la structure :

La valeur  $w$  à prendre en compte est égale à la somme des poids  $w_i$  calculés à chaque niveau  $i$  de la structure

$$W = \sum W_i \text{ avec } W_i = G_i + \beta P_i$$

$G_i$  : poids des charges permanentes et à celle des équipements fixés éventuellement solidaires de la structure.

$P_i$  : charge d'exploitation.





$\beta$  : Coefficient de pondération fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation

Pour notre projet  $\beta = 0,2$ .

**V.3.1. Détermination des poids ( $W_i$ ) de la structure :**

**Tableau V.5 : Poids du 6<sup>ème</sup> niveau en (kN) avec  $S = 375,7m^2$**

Plancher	$G \times S$	$375,7 \times 6,48$	2434.54
Poteaux	$n \times b \times h \times \gamma_b \times h/2$	$38 \times 0,35 \times 0,35 \times 3,24/2 \times 25$	188,5
Poutres principales	$b \times h \times \gamma_b \times L \times n$	$0,45 \times 0,3 \times 25(4,75 + 4,70 \times 2) \times 5 + (4,7 + 4,75) \times 6$	430.14
Poutres secondaires	$b \times h \times \gamma_b \times L \times n$	$0,3 \times 0,3 \times 25(3,33 + 3,45 \times 4 + 3,43 \times 2 + 3,55 \times 2 + 3,58) \times 3 + (3,33 + 4,45 \times 2 + 3,55 \times 2 + 3,43 \times 2)$	288,45
Murs extérieurs	$G_m \times \text{per} \times (H_e - /2) \times 0,7$	$2,62 \times 108,91 - 38,82 (3,24 - 0,45/2) \times 0,7$	390.78
Acrotère	$S \times \gamma_b \times L$	$0,0685 \times 25 \times 108,91$	186,51
La charge Q	$Q \times S \times \beta$	$1 \times 375,7 \times 0,2$	75.14
Murs voiles	$e_p \times l \times \gamma_b \times h_e$	$25 \times 0,2 \times 38,82 \times 3,24$	619.16
<b>le poids total</b>			<b>4613.22</b>

**Tableau V.6: Poids du 5<sup>ème</sup> niveau en (kN) avec  $S = 375,7m^2$**

Plancher	$G \times S$	$5,10 \times 375,7$	1916.07
Poteaux	$n \times b \times a \times \gamma_b \times h_e$	$38 \times 0,35 \times 0,35 \times 3,24 \times 25$	377,05
Poutres Pp	$b \times h \times \gamma_b \times L \times n$	$0,45 \times 0,3 \times 25 \times 127,45$	430.14
Poutres Sc	$b \times h \times \gamma_b \times L \times n$	$0,3 \times 0,3 \times 25 \times (128,2)$	288,45
Murs extés	$G_m \times L \times (H_e - b) \times 0,7$	$2,62 \times 70,09 \times (3,24 - 0,45) \times 0,7$	390.78
Charge Q	$Q \times S \times \beta$	$1,5 \times 375,7 \times 0,2$	112.71
Murs voiles	$e_p \times l \times \gamma_b \times h_e$	$25 \times 0,2 \times 38,82 \times 3,24$	619.16
<b>Le poids total</b>			<b>4134.36</b>



**Tableaux V.7 : Poids du 4<sup>ème</sup> niveau au 2<sup>ème</sup> niveau (kN) avec S = 375,7m<sup>2</sup>**

Plancher	G X S	5,10 x 375,7	1916.07
Poteaux	$n \times b \times a \times \gamma_b \times x h_e$	38 x 0,40 x 0,40 x 3,24 x 25	492,48
Poutre prin	$b \times h \times \gamma_b \times L \times N$	0,45 x 0,3 x 25 x 127,45	430.14
Poutre Sec	$b \times h \times \gamma_b \times L \times N$	0,3 x 0,3 x 25 x (128,2)	,288,45
Mur exté	$G_m \times L \times (H_e - b) \times 0,7$	2,62 x 70.09 x (3,24 - 0,45) x 0,7	390.78
Charge Q	Q X S X $\beta$	1,5 x 375,7 x 0,2	112.71
Mur voile	$e_p \times l \times \gamma_b \times x h_e$	25 x 0,2 x 38.82 x 3.24	619.16
<b>Le poids total</b>			<b>4249.79</b>

**Tableaux V.8: Poids niveau 1<sup>ère</sup> niveau (kN) avec S = 375,7m<sup>2</sup>**

Plancher	G X S	5,10 x 375,7	1916.07
Poteaux	$n \times b \times a \times \gamma_b \times x h_e$	38 x 0,45 x 0,45 x 3,24 x 25	623,3
Poutre Pr	$b \times h \times \gamma_b \times L \times N$	0,45 x 0,3 x 25 x 127,45	430.14
Poutre Sc	$b \times h \times \gamma_b \times L \times N$	0,3 x 0,3 x 25 x 128,2	288,45
Mur exté	$G_m \times L \times (H_e - b) \times 0,7$	2,62 x 70.09 x (3,24 - 0,45) x 0,7	390.78
Charge Q	Q X S X $\beta$	1,5 x = 375,7 x 0,2	112.71
Murs voiles	$e_p \times l \times \gamma_b \times x h_e$	25 x 0,2 x 38.82 x 3.24	619.16
<b>Le poids total</b>			<b>4380.61</b>

**Tableaux V.9 : Poids du niveau RDC (kN) avec S = 736,2m<sup>2</sup>**

Planche	G X S	5,10 x 736,2	3754.62
Poteaux	$n \times b \times a \times \gamma_b \times x h_e$	$(54 \times 0,45 \times 0,45 + \pi r^2 \times 6) \times 3,33 \times 25$	1035,84
Poutres Pr	$b \times h \times \gamma_b \times L \times N$	0,45 x 0,3 x 25 x 127,45	430.14
Poutres Sc	$b \times h \times \gamma_b \times L \times N$	0,3 x 0,3 x 25 x 128,2	288,45
Murs extés	$G_m \times L \times (H_e - b) \times 0,7$	2,62 x 70.09 x (3,24 - 0,45) x 0,7	390.78
Charge Q	Q X S X $\beta$	1,5 x 736,2 x 0,2	220.86
Murs voiles	$e_p \times l \times \gamma_b \times x h_e$	25 x 0,2 x 38.82 x 3.24	619.16
<b>Le poids total</b>			<b>6739.85</b>



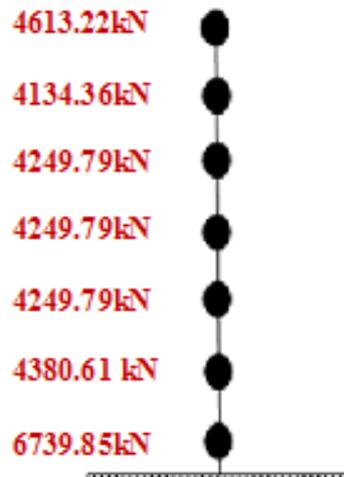


Figure V.3 : Le poids de chaque niveau de la structure

### V.3.3. Inertie massique:

On définit chaque masse ou moment d'inertie massique affectée aux nœuds de chaque niveau

$$I_M = \frac{M}{S} (I_{xg} + I_{yg})$$

$I_M$  : inertie massique (t.m<sup>2</sup>)

$x_g$  et  $y_g$ : coordonnées du centre de gravité de 5% de la longueur max

$M$ : masse sismique qui égale au rapport  $W/g$

$X_G$  et  $Y_G$ : coordonnées de l'excentricité fictive

$W$  : le poids de chaque niveau  $i$

$g$ , l'accélération de pesanteur 9,81m/s<sup>2</sup>

$$X_G = x_g + 0,05L_{max}$$

$$Y_G = y_g + 0,05L_{max}$$

$S$  : surface du plancher

$I_{xg}$  : inertie du plancher suivant l'axe X

$I_{yg}$  : inertie du plancher suivant l'axe Y

Tableau V.10 : Inertie massique

niveau	M (t)	S(m <sup>2</sup> )	$I_{xx}$ (m <sup>4</sup> )	$I_{yy}$ (m <sup>4</sup> )	$I_{massique}$ (t.m <sup>2</sup> )
6	470.26	375,7	5393,6	39498,3	56190.75
5	421.44	375,7	5393,6	39498,3	50357.31
4—2	433.21	375,7	5393,6	39498,3	51763.69
1'	446.54	375,7	5393,6	39498,3	53356.48
RDC	687.04	736,2	30463,7	74736,1	98175.05





**V. 4.Vérification :**

V.4.1-Calcul des coefficients de participation modale :

On doit vérifiée que :  $\sum \bar{\alpha}_i \geq 90\%$

$$\text{Avec : } \bar{\alpha}_i = \frac{\left( \sum_{K=1}^n W_K \Phi_{Ki} \right)^2}{\sum_{K=1}^n W_K \Phi_{Ki}^2} \cdot \frac{1}{\sum_{K=1}^n W_K}$$

Le logiciel Sap2000 peut déterminer directement les valeurs des coefficients de participation modale, les valeurs données sont :

1-Sens longitudinal:

$\Sigma\alpha_x = 85\% < 90\%$  .....condition non vérifiée.

2-Sens transversal:

$\Sigma\alpha_y = 80\% < 90\%$  ..... condition non vérifiée.

Pour les structures représentées par des modèles plans dans deux directions orthogonales, le nombre de modes de vibration à retenir dans chacune des deux directions d'excitation doit être tel que: la somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à 90% au moins ,ce qui n'est pas vérifiée donc selon les RPA99/V2003 on a :

**$K \geq 3 \sqrt{N}$  et  $T_K \leq 0.20 \text{ sec}$**

Dans notre cas le nombre des modes a prendre en compte est 8

**$K \geq 3 \sqrt{N}$  et  $T_K \leq 0.20 \text{ sec} \rightarrow K = 7.94 \cong 8 \text{ modes}$  où  $T_K = 0.06 < 0.2 \text{ sec}$**

où : **N** est le nombre de niveaux au-dessus du sol et **T<sub>k</sub>** la période du mode K.





Tableau V.11. TABLE: Modal Participating Mass Ratios

OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.370828	0.64085	0.0003
MODAL	Mode	2	0.234557	0.64131	0.66873
MODAL	Mode	3	0.154169	0.64345	0.67557
MODAL	Mode	4	0.089936	0.8546	0.67587
MODAL	Mode	5	0.067419	0.8546	0.67606
MODAL	Mode	6	0.066236	0.8546	0.67644
MODAL	Mode	7	0.064262	0.85461	0.68032
MODAL	Mode	8	0.063152	0.85461	0.68562
MODAL	Mode	9	0.06275	0.85462	0.68572
MODAL	Mode	10	0.061645	0.85465	0.71853
MODAL	Mode	11	0.061244	0.85466	0.72552
MODAL	Mode	12	0.060909	0.85469	0.80311

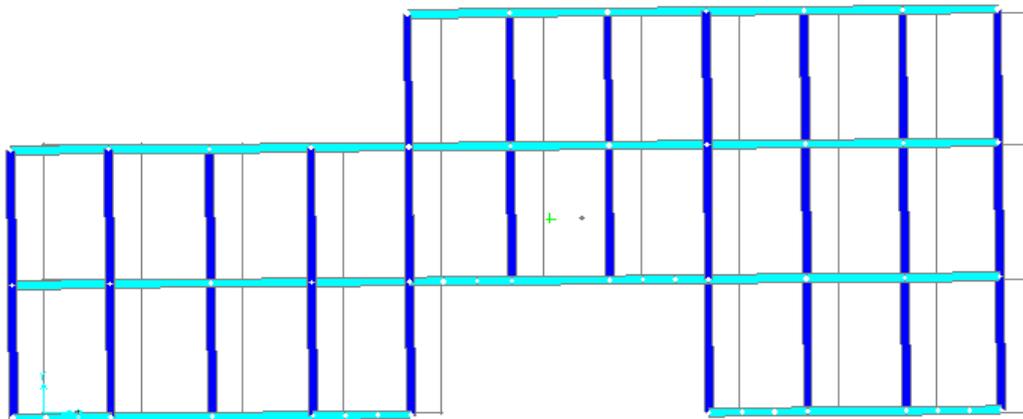


Figure V.4 : Comportement de la structure selon le 1<sup>ère</sup> mode translation (x-x)



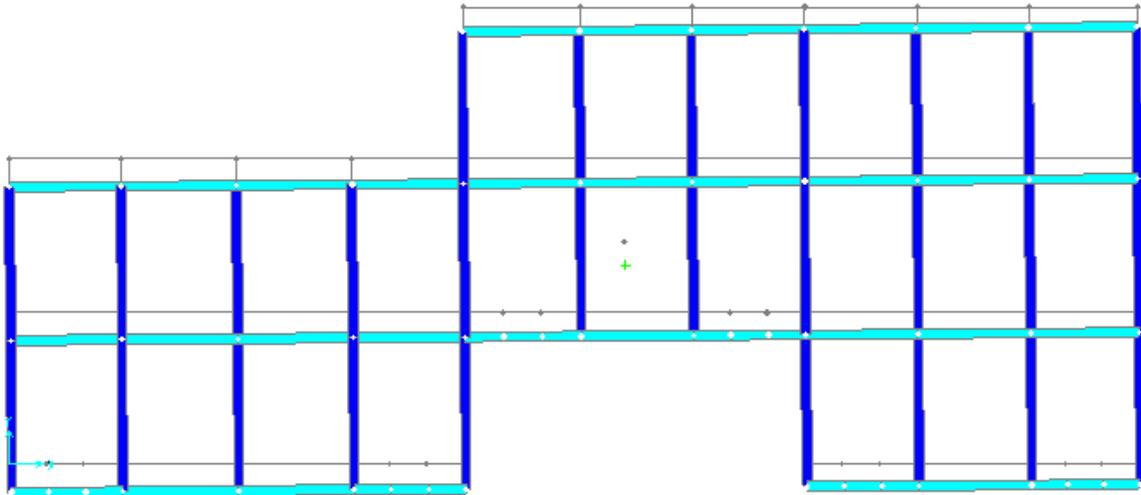


Figure V.5 : Comportement de la structure selon le 2<sup>ème</sup> mode translation (y-y)

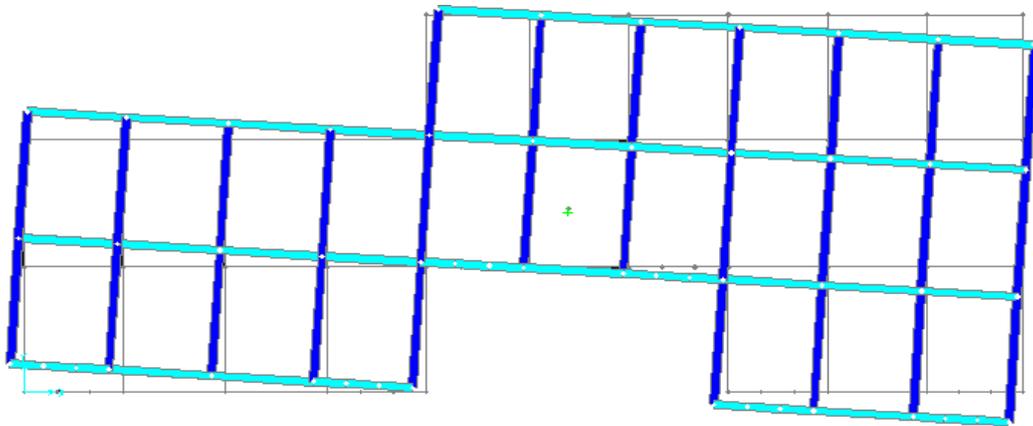


Figure V.6 : Comportement de la structure selon le 3<sup>ème</sup> mode rotation suivant (z)

**V.4.1 Calcul de l'effort tranchant pour la méthode statique équivalente :**

La force sismique totale  $V_t$  appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule

$$V = \frac{A.D.Q}{R} . W$$

**A** : coefficient d'accélération de zone.

**D** : facteur d'amplification dynamique moyen en fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement ( $\eta$ ) et de la période fondamentale de la structure.





$$D = \begin{cases} 2,5\eta & \text{Si } 0 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} & \text{Si } T_2 \leq T \leq 3,0 \text{ sec} \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2}{3,0}\right)^{2/3} \cdot \left(\frac{3,0}{T}\right)^{5/3} & \text{Si } T > 3,0 \text{ sec} \end{cases}$$

**W** : le poids total de la structure :

**R** : coefficient de comportement global de la structure, il exprime la capacité de la structure à entrer dans le domaine plastique .Il dépend du type de la structure et de cas contreventement.

$$\text{Ou : } \begin{cases} A = 0,25. & R = 5,0. \\ Q_x = 1,15 & Q_y = 1,25 \\ W = 32617.41 \text{ kN} \end{cases}$$

**T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>** : période caractéristique associée à la catégorie du site.

-Sol meuble  $\Rightarrow$  site 3 donc **T<sub>1</sub> = 0,15 sec** et **T<sub>2</sub> = 0,50 sec**.

#### V.4.2.Estimation de la période fondamentale de la structure :

La valeur de la période fondamentale (T) de la structure peut être estimée à partir de formules empirique en calculée par des méthodes analytiques ou numériques.

$$T = C_t \cdot h_n^{3/4}.$$

**h<sub>n</sub>** : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'à dernier niveau.

**C<sub>t</sub>** : coefficient fonction du système de contreventement du type de remplissage.

$$T = C_T \cdot h_n^{3/4} \quad \text{Ou : } \begin{cases} h_n = 22.86\text{m} \\ C_T = 0,050. \end{cases}$$

$$\text{Donc : } T = 0,050 \cdot (22.86)^{3/4} = 0,52 \text{sec}.$$

Dans notre cas on peut également utiliser cette formule :

$$T = \frac{0,09 \times h_N}{\sqrt{D}}$$

- Direction (x) :

$$T_x = \frac{0,09 \times 22.86}{\sqrt{34.67}} = 0.35 \text{ s}$$

- Direction(y) :

$$T_y = \frac{0,09 \times 22.86}{\sqrt{23.60}} = 0.42 \text{ s}$$

$$\text{Sens (x) : } T_x = \min ( 0,52 ; 0.35 ) = 0,35 \text{ s}$$





Sens (y) :  $T_Y = \min ( 0,52; 0,42 ) = 0,42 \text{ s}$

$$D = 2,5\eta \quad \text{Si } 0 \leq T \leq T_2$$

$$2,5\eta = 2,5 \cdot 0,88 = 2,2$$

Donc :

$$V_x = \frac{A.D.Q}{R} \cdot W = \frac{0,25 \times 2,2 \times 1,15}{5} \times 32617,41 = 4126,10 \text{ kN}$$

$$V_y = \frac{A.D.Q}{R} \cdot W = \frac{0,25 \times 2,2 \times 1,25}{5} \times 32617,41 = 4484,89 \text{ kN}$$

On doit vérifier que la résultante des forces sismiques à la base « $V_t$ » obtenue par combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante de la force sismique déterminée par la méthode statique équivalente.

**1) Sens longitudinal :**

$$V_{dx} = 3736,41 \text{ kN} > 80\% V_{st} = 80\% \cdot 4126,10 = 3300,88 \quad \text{condition vérifiée.}$$

**2) Sens transversal :**

$$V_{dy} = 3709,576 > 80\% V_{st} = 80\% \cdot 4484,89 = 3587,91 \quad \text{condition vérifiée.}$$

**3) Vérification de la période :**

Selon le RPA99/V2003, les valeurs de T, calculées à partir des formules de Rayleigh ou de méthodes numériques ne doivent pas dépasser celles (les plus pénalisantes) estimées à partir des formules empiriques appropriées de plus de 30%.

$$T_{dyn} = 0,37 \text{ sec} < 30\% \cdot T_x = 1,3 \times 0,35 = 0,45 \text{ sec} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

$$T_{dyn} = 0,37 \text{ sec} < 30\% \cdot T_y = 1,3 \times 0,42 = 0,55 \text{ sec} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

**V.5. Calcul des déplacements :**

Sous l'action des forces horizontales ; la structure subira des déformations horizontales. Pour éviter l'augmentation des contraintes dans les systèmes de contreventement, les déplacements doivent être calculés pour chaque élément de contreventement, les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents ne doivent pas dépasser 1,0% de l'hauteur de l'étage.

$$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1} \leq \bar{\delta}_k \quad \text{avec } \delta_k = R \cdot \delta_{ek}$$

R : coefficient de comportement ; R= 5.

$\delta_{ek}$  : Déplacement du aux forces sismiques  $F_i$  (y compris l'effort de torsion).

Les deux tableaux suivants résument les déplacements relatifs aux différents niveaux dans les deux sens longitudinal et transversal.



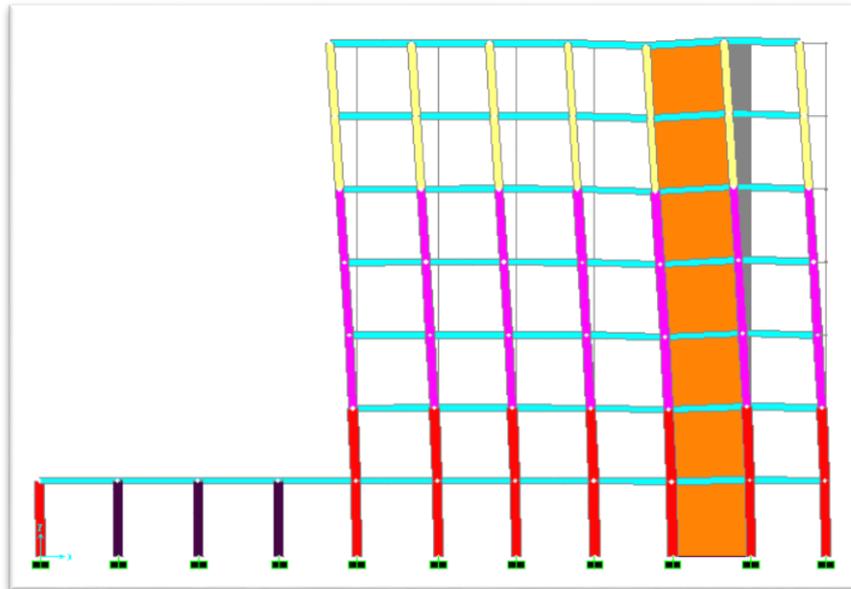


Figure V.7 : Déplacements relatifs sens longitudinal

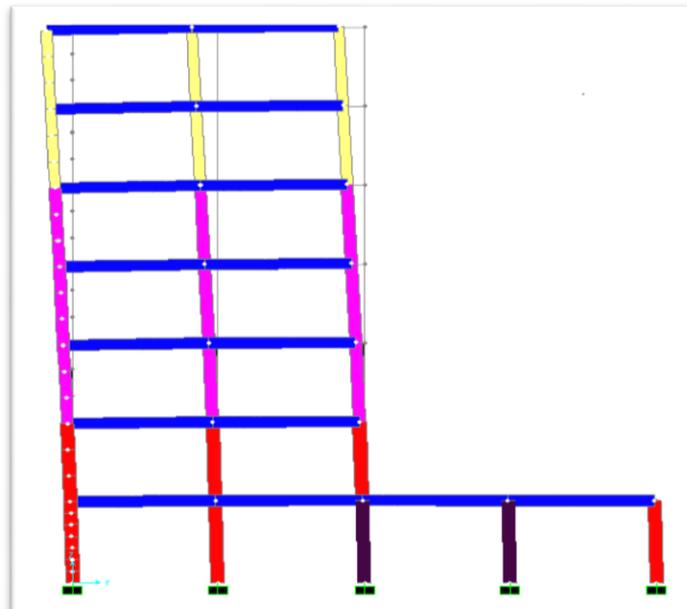


Figure V.8 : Déplacements relatifs sens transversal





Tableau V.12: Déplacements relatifs aux différents niveaux sens longitudinal et transversal

niveau	sens longitudinal			Sens transversal.			Comparaison.
	$\delta_{ek}$ (mm)	$\delta k=R.\delta eK$ (m)	$\Delta k$ (m)	$\delta_{ek}$ (m)	$\delta k=R.\delta eK$ (m)	$\Delta k$ (mm)	1% h (m)
6	0.012431	0.06	0,01	0.004914	0,024	0,004	0,0324
5	0.010275	0,05	0,01	0.004103	0,020	0,004	0,0324
4	0.008038	0,04	0,01	0.003265	0,016	0,004	0,0324
3	0.005829	0,03	0,01	0.002434	0,012	0,004	0,0324
2	0.003748	0,02	0,01	0.001646	0,008	0,003	0,0324
1	0.001949	0,01	0,007	0.00095	0,005	0,003	0,0324
RDC	0.000643	0,0032	0,003	0.000402	0,002	0,002	0,0342

les déplacements relatifs ne dépassent pas 1,0% de la hauteur d'étage : donc la condition est vérifiée, selon le critère de justification de sécurité de l'article 5.10 du RPA99/V2003

#### V.6. Justification de l'effet P- $\Delta$ :

Les effets du 2<sup>ème</sup> ordre peuvent être négligés dans le cas des bâtiments, si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux:

$$\theta_K = \frac{P_K \times \Delta_K}{V_K \times h_K} \leq 0.10$$

$P_K$ : poids total de la structure et des charges des exploitations associées au dessus niveau "K".

$V_K$ : effort tranchant d'étage au niveau "K".

$\Delta_K$ : déplacement relatif du niveau "k"

$h_K$ : hauteur de l'étage "K".

Si:  $0,10 \leq \theta_K \leq 0,20$ , les effets P-  $\Delta$  peuvent être pris en compte de manière approximative en amplifiant les effets de l'action sismique calculés au moyen d'une analyse élastique du 1<sup>er</sup> ordre par le facteur:  $1/(1-\theta_K)$

Si  $\theta_K > 0.20$ . La structure est potentiellement instable et doit être redimensionnée

Les résultats obtenus par le calcul numérique sont donnés par le tableau suivant :



Tableau V.13: Vérification de l'effet P- $\Delta$ .

Niveau	P(t)	$w_i \cdot h_i(t)$	$\Delta k_x$ (m)	$\Delta k_y$ (m)	$F_{ix}(t)$	$F_{iy}(t)$	h (m)	$\theta_x$	$\theta_y$
6	470.26	10750.14	0,01	0,004	109.16	118.66	3.24	0,013	0,005
5	421.44	8268.65	0,01	0,004	83.96	91.27	3.24	0,014	0,005
4	433.21	7095.98	0,01	0,004	72.06	79.32	3.24	0,015	0,006
3	433.21	5692.38	0,01	0,004	57.80	62.83	3.24	0,017	0,006
2	433.21	4288.78	0,01	0,003	43.55	47.34	3.24	0,018	0,005
1	446.54	2973.96	0,007	0,003	30.20	32.82	3.24	0,014	0,006
RDC	687.04	2349.68	0,003	0,002	23.86	25.93	3,42	0,007	0,004

$\theta_k < 0,1$  Donc l'effet P- $\Delta$  est négligeable pour les deux directions transversale et longitudinale.

