

**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- CALCULS SISMIQUES :**

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 V7.40 » 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 de mode à prendre en compte est tel que la somme des coefficients de participation modale soit au moins égale à 90%.

### V.2.1-Evaluation 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.

et :

A : Coefficient d'accélération de zone.

$\eta$  : Facteur de correction d'amortissement (quand 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 :

-Zone sismique II }  $\Rightarrow (A = 0,15)$   
-Groupe d'usage 2 }

$\xi = 6\%$  - {  
-Portique en béton armé.  
-Remplissage léger.

$$\eta = \sqrt{7/(2+6)} = 0,935 \geq 0,7$$

R : Coefficient de comportement de la structure.

-Mixte portiques/voiles : R = 5.

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

$P_q$  : est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité Q est satisfait ou non, sa valeur est donné par le tableau suivant :

$$Q = 1 + \sum_{q=1}^6 P_q$$

Critère de qualité	Observé	N/observé	$P_q$	
			Sens x-x	Sens y-y
1-Condition minimale sur les files de contreventement	0	0,05	Obs	Obs
2-Redondance en plan	0	0,05	Obs	Obs
3-Régularité en plan	0	0,05	N-obs	N-obs
4-Régularité en élévation	0	0,05	Obs	Obs
5-Contrôle de la qualité des matériaux	0	0,05	N-obs	N-obs
6-Contrôle de la qualité d'exécution	0	0,10	N-obs	N-obs
$\sum_{q=1}^6 P_q$			0,2	0,2
$Q = 1 + \sum_{q=1}^6 P_q$			1,2	1,2

*Tableau VI-1 - Valeur des pénalités P*

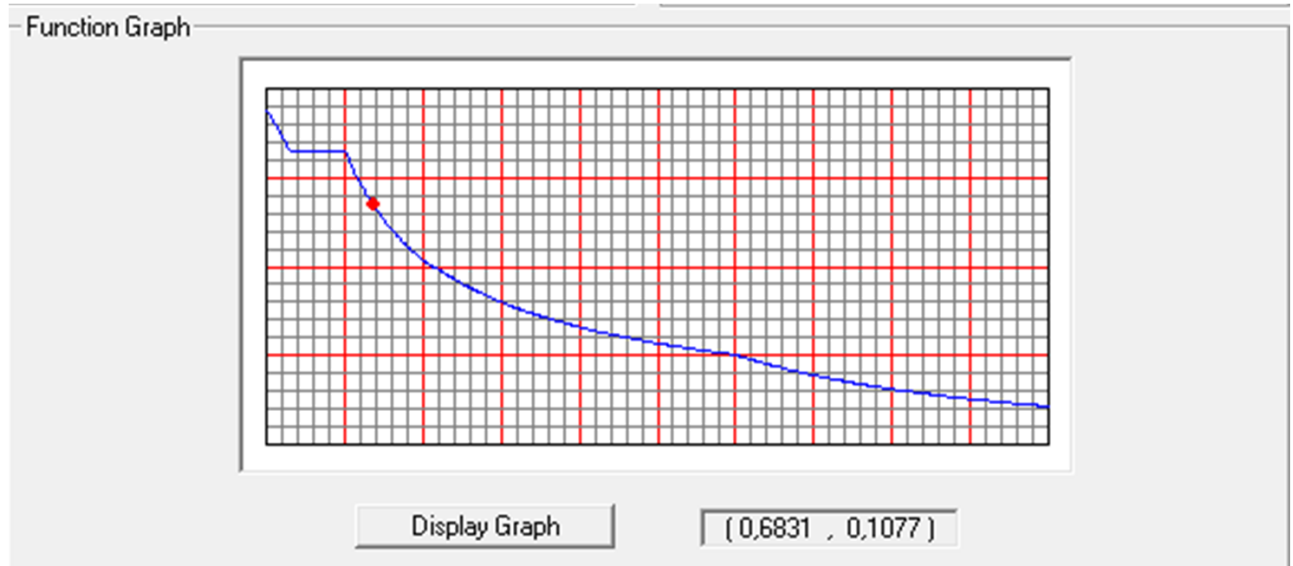


Figure : V- 1. Spectre de Réponse de calcul

### V.3- Calcul des masses 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 du aux charges permanente et à celle des équipements fixés éventuelles 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  $\beta = 0,2$

### **Chargement des portiques :**

#### **Poutre principale :**

Niveau	Charge $W_i$ (t)	Charge $G_i(t)$	Surcharge $Q(t)$
Terrasse	Acrotère : $0,6 \times 0,1 \times 2,5 = 0,15$	0,364	$0,1 \times 0,65 / 2 = 0,032$
	Plancher : $0,65 / 2 \times 0,658 = 0,214$		
2 <sup>ème</sup> ... 10 <sup>ème</sup>	Plancher $0,65 / 2 \times 0,508 = 0,165$	0,862	$0,15 \times 0,65 / 2 = 0,048$
	Murs ex : $0,262 \times 2,66 = 0,696$		
1 <sup>er</sup> +RDC	Plancher : $0,65 / 2 \times 0,508 = 0,165$	0,862	$0,5 \times 0,65 / 2 = 0,325$
	Murs ex : $0,236 \times 2,66 = 0,696$		

**Poutre secondaire :**

Niveau	Charge $W_i$ (t)	Charge $G_t$ (t)	Surcharge $Q$ (t)
Terrasse	Plancher : $0,65 \times 0,658 = 0,4251$	0,428	$0,1 \times 0,65 = 0,065$
2 <sup>ème</sup> ...10 <sup>ème</sup>	Plancher $0,65 \times 0,508 = 0,33$	0,33	$0,15 \times 0,65 = 0,097$
1 <sup>er</sup> +RDC	Plancher : $0,65 \times 0,508 = 0,33$	0,33	$0,5 \times 0,65 = 0,26$

**V.3.1-Détermination des poids ( $W_i$ ) de la structure :****Exemple de calcul :****1. Le niveau (RDC) ,1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> étage :**La surface du plancher :  $S=312,81\text{m}^2$ 

<b>Charge permanente <math>G_i</math></b>	<b><math>G \times s</math></b>	<b><math>5,97 \times 312,81</math></b>	1867.48KN
<b>Poteaux (50x50)</b>	$N \times b \times h \times He \times \gamma b$	$(45 \times 0,50^2 \times 3,40 \times 25)$	956.25KN
<b>Poutre principale (40x45)</b>	$B \times h \times \gamma b \times Lx \times n$	$0,4 \times 0,45 \times 25 \times (24,6 + 70,3 + 24,4)$	537.80KN
<b>Poutre secondaire (30x35)</b>	$B \times h \times \gamma b \times (Ly \times n)$	$0,3 \times 0,35 \times 25 \times (69 + 28)$	254.43KN
<b>Les murs extérieurs</b>	$Gm \times L \times (He - b) \times U \times 80\%$	$(2,67 \times 39,4 \times 3,40 \times 80\%)$	286,14KN
<b>Les murs de voile</b>	$ep \times \gamma b \times L \times (ht - b)$	$0,2 \times 25 \times (3,40 - 0,40) \times 20,09$	301,35KN
<b>Balcons</b>	$S \times e \times \gamma b$	$2,40 \times 0,12 \times 25$	7.20 KN
<b>Charge d'exploitation</b>	$Q \times s \times \beta$	$5 \times 312,81 \times 0,2$	312.81KN
	<b><math>\sum W_t = G_i + \beta Q_i</math></b>		<b>4210.85KN</b>

**Tableau 1 : détermination w au niveau de RDC, 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> étage****2. Le niveau 3<sup>ème</sup> à 4<sup>ème</sup> étage : X**La surface du plancher :  $S=329,73\text{m}^2$ .

Charge permanente $G_i$	$G \times s$	$5.02 \times 329.73$	1655.24KN
Poteaux (45x45)	$N \times b \times h \times He \times \gamma b$	$(45 \times 0.45^2 \times 3.40 \times 25)$	774.56KN
Poutre principale (40x45)	$B \times h \times \gamma b \times Lx \times n$	$0,4 \times 0,45 \times 25 \times (23,88 + 63 + 24,19)$	499.82KN
Poutre secondaire (30x35)	$B \times h \times \gamma b \times (Ly \times n)$	$0,3 \times 0,35 \times 25 \times (69 + 28 + 1.5)$	245.44KN
Les murs extérieurs	$Gm \times L \times (He - b) \times U \times 80\%$	$(2.67 \times 39.4 \times 3.40 \times 80\%)$	286.14KN
Les murs de voile	$ep \times \gamma b \times L \times (ht - b)$	$0,2 \times 25 \times (3,40 - 0.40) \times 20,09$	301,35KN
Balcons	$S \times e \times \gamma b$	$2.40 \times 0.12 \times 25$	7.20 KN
Charge d'exploitation	$Q \times s \times \beta$	$2.5 \times 329.73 \times 0.2$	164,87KN
$\sum W_t = G_i + \beta Q_i$			<b>3692.05KN</b>

Tableau 2 : détermination w au niveau de 3<sup>ème</sup> à 4<sup>ème</sup> étage

### 3. Le niveau 5<sup>ème</sup> à 7<sup>ème</sup> étage :

La surface du plancher :  $S=314.25m^2$ .

Charge permanente $G_i$	$G \times s$	$5.02 \times 314.25$	1577.54KN
Poteaux (40x40)	$N \times b \times h \times He \times \gamma b$	$(45 \times 0.40^2 \times 3.40 \times 25)$	612.00KN
Poutre principale (40x45)	$B \times h \times \gamma b \times Lx \times n$	$0,4 \times 0,45 \times 25 \times (27,86 + 63 + 24,19)$	517.73KN
Poutre secondaire (30x35)	$B \times h \times \gamma b \times (Ly \times n)$	$0,3 \times 0,35 \times 25 \times (69 + 28 + 1.5)$	245.44KN
Les murs extérieurs	$Gm \times L \times (He - b) \times U \times 80\%$	$(2.67 \times 39.4 \times 3.40 \times 80\%)$	286.14KN
Les murs de voile	$ep \times \gamma b \times L \times (ht - b)$	$0,2 \times 25 \times (3,40 - 0.40) \times 20,09$	301.35KN
Balcons	$S \times e \times \gamma b$	$2.40 \times 0.12 \times 25$	7.20 KN
Charge d'exploitation	$Q \times s \times \beta$	$1.5 \times 314.25 \times 0.2$	94.28KN
$\sum W_t = G_i + \beta Q_i$			<b>3641.68KN</b>

Tableau 3 : détermination w au niveau de 5<sup>ème</sup> à 7<sup>ème</sup> étage.

#### 4. Le niveau 8<sup>ème</sup> à 9<sup>ème</sup> étag

La surface du plancher :  $S=190.34\text{m}^2$ .

<b>Charge permanente <math>G_i</math></b>	<b><math>G \times s</math></b>	<b><math>5.02 \times 190,34</math></b>	955.51KN
<b>Poteaux (35x35)</b>	$N \times b \times h \times He \times \gamma b$	$(45 \times 0.35^2 \times 3.40 \times 25)$	468.56KN
<b>Poutre principale (40x45)</b>	$B \times h \times \gamma b \times Lx \times n$	$0,4 \times 0,45 \times 25 \times (19,50 + 52.50 + 18.50)$	407.25KN
<b>Poutre secondaire (30x35)</b>	$B \times h \times \gamma b \times (Ly \times n)$	$0,3 \times 0,35 \times 25 \times (51 + 26)$	202.13KN
<b>Les murs extérieurs</b>	$Gm \times L \times (He - b) \times U \times 80\%$	$(2.67 \times 39.4 \times 3.40 \times 80\%)$	286.14KN
<b>Les murs de voile</b>	$ep \times \gamma b \times L \times (ht - b)$	$0,2 \times 25 \times (3,40 - 0.40) \times 20,09$	301.35KN
<b>Balcons</b>	$S \times e \times \gamma b$	$2.40 \times 0.12 \times 25$	7.20 KN
<b>Charge d'exploitation</b>	$Q \times s \times \beta$	$1.5 \times 190.34 \times 0.2$	57.10KN
		<b><math>\sum W_t = G_i + \beta Q_i</math></b>	<b>2971.40KN</b>

Tableau 4 : détermination w au niveau de 8<sup>ème</sup> à 9<sup>ème</sup> étage

### 5. Le niveau terrasse :

La surface du plancher :  $S=301.73\text{m}^2$ .

<b>Charge permanente <math>G_i</math></b>	<b><math>G \times s</math></b>	<b><math>5.90 \times 301.73</math></b>	1780.33KN
<b>Poteaux (35x35)</b>	$\frac{1}{2}(N \times b \times h \times He \times \gamma b)$	$\frac{1}{2}(45 \times 0.35^2 \times 3.40 \times 25)$	468.56KN
<b>Poutre principale (40x45)</b>	$B \times h \times \gamma b \times Lx \times n$	$0,4 \times 0,45 \times 25 \times (19,50 + 52.50 + 18.50)$	407.25KN
<b>Poutre secondaire (30x35)</b>	$B \times h \times \gamma b \times (Ly \times n)$	$0,3 \times 0,35 \times 25 \times (51 + 26)$	231.00KN
<b>Les murs extérieurs</b>	0	0	0KN
<b>Les murs de voile</b>	0	0	0KN
<b>Balcons</b>	$S \times e \times \gamma b \times pér$	$2.4 \times 0.12 \times 25 \times 87$	626.40 KN
<b>Charge d'exploitation</b>	$Q \times s \times \beta$	$1 \times 301.73 \times 0.2$	60.35KN
<b>Acrotère</b>	$h \times e \times 25 \times pér$	$0.6 \times 0.1 \times 25 \times 87$	130.50KN
	$\sum Wt = G_i + \beta Q_i$		<b>3704.32KN</b>

Tableau 5 : détermination w au niveau de la terrasse

### V.3.2 -Le résultat obtenu par le tableau donne la masse de chaque étage

Niveau	$W_i(\text{KN})$	$MI= W/g(\text{Kg})$
10 emé	3704.32	377.61
09 éme	2991.24	304.92
08 éme	2991.24	304.92
07 éme	3751.39	382.40
06 éme	3751.39	382.40
05 éme	3751.39	382.40
04 éme	3880.72	395.59
03 éme	3880.72	395.59
02 éme	4581.76	467.05
01 ére	4581.76	467.05
RDC	4581.76	467.05
<b>Total</b>	<b><math>\sum 42447.69 \text{ KN}</math></b>	

Tableau V.6 : tableau d'estimation du poids propre



**V.3.3-Définition des masses :**

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

$$D'où : I_M = \frac{M}{S} (I_{xg} + I_{yg})$$

$I_M$  : 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 9,81

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

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

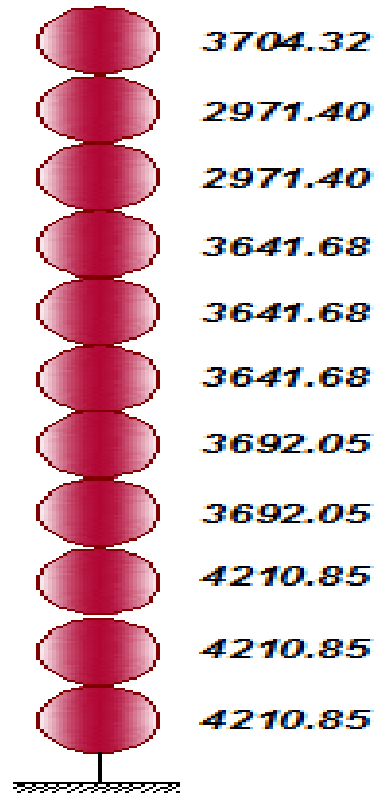
$S$  : surface du plancher

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

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

	RDC (1-2)	3-4	5-7	8-9	Terrasse
<b>5%Lmax</b>	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
<b>X<sub>G</sub> (m)</b>	11.64	12.01	12.41	13.77	13.28
<b>Y<sub>G</sub> (m)</b>	11.20	10.80	11.02	9.48	10.50
<b>X<sub>G</sub>' (m)</b>	13.34	13.71	14.11	15.47	14.45
<b>Y<sub>G</sub> (m)</b>	12.90	12.50	12.72	11.18	11.67
<b>I<sub>X</sub> (m<sup>4</sup>)</b>	9259.69	10710.42	10710.42	5501.26	7976.47
<b>I<sub>Y</sub> (m<sup>4</sup>)</b>	16350.12	17668.54	17668.54	9027.30	13632.11
<b>S (m<sup>2</sup>)</b>	312.81	329.79	314.25	190.34	301.73
<b>(M =w/g) (KN)</b>	4670.50	4035.10	3955.90	3049.20	3776.10
<b>I<sub>M</sub> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	3815.86	3462.23	3291.96	2324.57	2701.02

**Tab V-7** : Chargement des masses et les inerties massiques.

**VALEUR DE MASSE EN KN**

*Figure : V- 1.* Valeur de masse en KN

### V.3.4-calcul des coefficients de participation modale :

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

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

$$W = \sum W_K = \mathbf{42447.69KN}$$

Le logiciel Sap 2014 peut déterminer directement les valeurs des coefficients de participation modale, les valeurs données sont :

a- sens longitudinal :

$$\sum \alpha_x = 92.12 \% > 90 \% \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

b- sens transversal :

$\Sigma\alpha_y = 93.23 \% > 90\%$  ..... condition vérifiée.

### NOMBRE DE MODES A CONSIDERER :

La somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à 90% au moins de la masse totale de la structure, le nombre minimale de mode ( $K$ ) à retenir doit être :

$$K \geq 3\sqrt{N};$$

Et  $T_K \leq 0,2 \text{ sec}$  ;

Avec  $N$ : le nombre de niveaux au-dessus du sol;

$$K \geq 3\sqrt{N};$$

$K = 10$  modes

Et  $T_K$ : la période du mode  $K$ ;

$$K \geq 3\sqrt{11} = 9,95; \text{ Soit.}$$

$K = 10$  modes;

$T_K = 0,15 \text{ sec} < 20 \text{ sec}$  ..... Condition vérifiée

### V.4- Calcul de l'effort tranchant pour la méthode statique équivalent :

La force sismique totale  $V_i$  appliquée à la base de la structure, doit être calculée

Successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule :

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

$A$  : 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.

$$\text{Ou : } \begin{cases} A = 0,15. \\ Q = 1,15. \\ R = 5,0. \end{cases}$$

$$W = 42447,69 \text{ KN}$$

$T_1, T_2$  : période caractéristique associée à la catégorie du site.

-Sol meuble  $\Rightarrow$  site 3 donc  $T_1 = 0,15$  sec et  $T_2 = 0,50$  sec.

#### V.4.1- 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.

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

$h_n$  : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'à dernier niveau.

$C_t$  : coefficient fonction du système de contreventement du type de remplissage.

$$\begin{cases} C_{TX} = 0,050 \\ C_{TY} = 0,050 \end{cases}$$

$$T = 0,050 \times (37,40)^{3/4} = 0,757 \text{ s}$$

On peut également utiliser aussi la formule suivante :

$$T_{X,Y} = \frac{0,09 \times h_n}{\sqrt{L_{X,Y}}} \quad \text{RPA99 (Formule 4-7)}$$

$L$  : Distance du bâtiment mesuré à la base dans les deux directions.

$$L_x = 22,90 \text{ m}, \quad L_y = 19,60 \text{ m}$$

$$T_X = \min \begin{cases} C_{TX} \times h^{3/4} = 0,05 \times 37,40^{3/4} = 0,757 \text{ s} \\ 0,09 \times h_n / \sqrt{L_x} = \frac{0,09 \times 37,40}{\sqrt{22,90}} = 0,703 \text{ s} \end{cases} \Rightarrow T_X = 0,703 \text{ s}$$

$$T_Y = \min \begin{cases} C_{TY} \times h^{3/4} = 0,05 \times 37,40^{3/4} = 0,757 \text{ s} \\ 0,09 \times h_n / \sqrt{L_y} = \frac{0,09 \times 37,40}{\sqrt{19,60}} = 0,760 \text{ s} \end{cases} \Rightarrow T_Y = 0,760 \text{ s}$$

$$\Rightarrow D = 2,5 \eta \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \quad \text{Car } 0,5 \leq T \leq 3,0 \text{ s}$$

$$\begin{cases} D_x = 2.5 \times 0.935 \times \left( \frac{0.5}{0.703} \right)^{2/3} \\ D_y = 2.5 \times 0.935 \times \left( \frac{0.5}{0.760} \right)^{2/3} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} D_x = 1.87 \\ D_y = 1.77 \end{cases}$$

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 résultant de la force sismique déterminée par la méthode statique équivalente.

$$V_{st} = \frac{A \times D \times Q}{R} W$$

Donc :

$$V_{st}^x = \frac{0,15 \times 1,87 \times 1,2}{5} \times 42447.69 = 2857.58 \text{ KN}$$

$$V_{st}^y = \frac{0,15 \times 1,77 \times 1,2}{5} \times 42447.69 = 2704.77 \text{ KN}$$

#### V.4.2- Sens longitudinal :

$V_{dx} = 38081.02 \text{ KN} > 80\% V_{st} = 80\% \cdot 2857.58 = 2286.064 \text{ KN}$  .....condition vérifiée.

#### V.4.3- Sens transversal :

$V_{dy} = 32202. \text{KN} > 80\% V_{st} = 80\% \cdot 2704.77 = 2163.816 \text{ KN}$ .....condition vérifiée.

$T_{dyn} = 0,600 < 30\% \cdot T = 1,3 \times 0.757 = 0.984 \text{ sec}$ ...condition vérifiée.

On vérifié aussi que la période dynamique  $T_{dyn}$

$$\begin{cases} T_{dyn} = 0.600 \text{ sec} < 1,3T_{sta} = 0,914 \text{ sec} \\ \text{et} \\ T_{dyn} = 0.600 \text{ sec} < 1,3T_{sta} = 0,988 \text{ sec} \end{cases} \Rightarrow \text{condition est vérifiée}$$

#### 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 la hauteur de l'étage.

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

R : coefficient de comportement ; R= 5.

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

$\bar{\delta}_k$  : Déplacement admissible (égale à 1%  $h_e$ )

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

		sens longitudinal (xx)			Sens transversal (yy)			Comparaison.
niveau	Hauteur (m)	$\delta_{ek}(m)$	$\delta_k=R.\delta_{eK}(m)$	$\Delta k(m)$	$\delta_{ek}(m)$	$\delta_k=R.\delta_{eK}(m)$	$\Delta k(m)$	$\bar{\delta}_k = 1\% h$
10	3.4	0.002806	0.01403	0.00006	0.000456	0.00228	0.00044	0.034
9	3.4	0.002818	0.01409	0.00006	0.000543	0.00272	0.00044	0.034
8	3.4	0.002806	0.01403	0.01010	0.000456	0.00282	0.0001	0.034
7	3.4	0.004808	0.02404	0.00895	0.000584	0.00292	0.00103	0.034
6	3.4	0.006598	0.03299	0.00347	0.000769	0.00385	0.00045	0.034
5	3.4	0.007292	0.03646	0.00351	0.00086	0.0043	0.00045	0.034
4	3.4	0.00695	0.03295	0.00894	0.000769	0.00385	0.00103	0.034
3	3.4	0.004802	0.02401	0.00982	0.000584	0.00292	0.00046	0.034
2	3.4	0.002838	0.01419	0.00008	0.000492	0.00246	0.00046	0.034
1	3.4	0.002853	0.01427	0.00008	0.000584	0.00292	0.00046	0.034
RDC	3.4	0.002838	0.01419	/	0.000492	0.00246	/	0.034

**Tableau V-8** : Déplacements relatifs aux différents niveaux sens longitudinal et transversal

On remarque que tous les déplacements relatifs ne dépassent pas les 1,0% de la hauteur d'étage : 1,0%  $h_e$ , donc la condition est vérifiée.

#### Justification vis-à-vis de l'effet P- $\Delta$ :

Les effets du 2<sup>o</sup> ordre (ou effet P- $\Delta$ ) peuvent être négligés dans le cas des bâtiments, si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta = \frac{P_k \times \Delta_k}{V_k \times h_k} \leq 0,10$$

$P_k$  : Poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau « K » :

$$P_k = \sum_{i=k}^n (W_{Gi} + \beta W_{Qi})$$

$V_k$  : Effort tranchant d'étage au niveau « K »

$\Delta_k$  : Déplacement relatif du niveau « K » par rapport à « K-1 ».

$h_k$  : Hauteur de l'étage « K » :

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

facteur :  $\frac{1}{1 - \theta_k}$  ;

Si  $\theta_k > 0,20$ , la structure est partiellement instable et doit être redimensionnée.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Niveau	W	P <sub>K</sub>	$\Delta_{kx}$	$\Delta_{ky}$	V <sub>X</sub>	V <sub>Y</sub>	H	$\theta_x$	$\theta_y$
10	3704.32	3704.32	0.00006	0.00044	121.2	114.72	3,4	0.00054	0.0042
9	2991.24	6695.56	0.00006	0.00044	123.56	116.95	3,4	0.001	0.0074
8	2991.24	9686.8	0.01001	0.00010	127.09	120.29	3,4	0.024	0.0024
7	3751.39	13438.19	0.00895	0.00103	131.08	124.07	3,4	0.07	0.033
6	3751.39	17189.58	0.00347	0.00045	136.07	128.79	3,4	0.03	0.018
5	3751.39	20940.97	0.00351	0.00045	141.86	134.27	3,4	0.05	0.021
4	3880.72	24821.69	0.00894	0.00103	148.61	140.66	3,4	0.04	0.053
3	3880.72	28702.41	0.00982	0.00046	156.32	147.96	3,4	0.07	0.026
2	4581.76	33284.17	0.00008	0.00046	163.24	154.51	3,4	0.0048	0.029
1	4581.76	37865.93	0.00008	0.00046	170.93	161.79	3,4	0.0052	0.032
RDC	4581.76	42447.69	/	/	181.4	171.7	3.4	/	/

**Tableau 1 : Les résultats obtenus**

$\theta \leq 0,10 \Rightarrow$  Donc l'effet P- $\Delta$  est négligeable pour les deux directions transversale et longitudinale.