

V-1) Généralités sur les séismes :**V.1.1-Un séisme ou tremblement de terre :**

Le séisme est le résultat de la libération brusque d'énergie accumulée par les contraintes exercées sur les roches, le résultat de la rupture des roches en surface s'appelle une faille. Le lieu de la rupture des roches en profondeur se nomme le foyer.

Plus rares sont les séismes dus à l'activité volcanique ou d'origine artificielle (explosions par exemple). Il se produit de très nombreux séismes tous les jours, mais la plupart ne sont pas ressentis par les humains. Environ cent mille séismes sont enregistrés chaque année sur la planète. Les plus puissants d'entre eux comptent parmi les catastrophes naturelles les plus destructrices. La science qui étudie ces phénomènes est la sismologie (étudiée par des sismologues) et l'instrument d'étude principal est le sismographe.

V.1.2- Causes du séisme:

- 1- Activités volcaniques (explosions, ascension des matières fondues).
- 2- Actions de l'eau souterraine.
- 3- Mouvements tectoniques (tension et rupture dans l'écorce causées par les mouvements des plaques).

V.1.3- Effets du séisme sur les structures :

- La translation du sol entraîne des oscillations forcées dans les structures portées.
- Les composantes horizontales H (qui sont dangereuses) produisent des oscillations latérales de flexion dans les 2 directions.
- Dissymétrie de rigidité ou de masse dans la structure qui produit des oscillations de torsion d'axe vertical.
- Les composantes verticales V produisent des vibrations longitudinales qui affectent la résistance des poteaux aux charges latérales et leur ductilité.

V-2) Introduction :

L'action du séisme se traduit par un brusque mouvement du sol, entraînant les fondations et les parties enterrées de l'ouvrage. Chaque partie de l'ouvrage est donc soumise à une force horizontale proportionnelle à sa masse avec des coefficients divers pour tenir compte des différents paramètres rentrant en ligne de compte les principaux paramètres sont :

- La zone de sismicité ;
- La forme en plan de l'ouvrage, la répartition des contreventements ;
- La distribution de la masse sur la hauteur ;
- La nature du terrain .

V-3) Objectif de l'étude dynamique:

L'objectif initial de l'étude dynamique d'une structure est la détermination des caractéristiques dynamiques propres de la structure lors de ses vibrations. Une telle étude pour notre structure telle qu'elle se présente, est souvent très complexe c'est pourquoi on fait souvent appel à des modélisations qui permettent de simplifier suffisamment les problèmes pour permettre l'analyse.

V-4) Méthode de calcul :

Selon le (RPA 99, version 2003 art.4.1) le calcul des forces sismiques peut être mener suivant trois méthodes :

- Méthode d'analyse modale spectrale.
- Méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes.
- Méthode statique équivalente.

V.4.1-Méthode statique équivalente:**Principe:**

Dans cette méthode RPA propose de remplacer les forces réelles dynamique engendrées par un séisme, par un système de forces statiques fictives dont les effets seront identiques et considérées appliquées séparément suivant les deux directions définies par les axes principaux de la structure.

IV.4.2-Méthode d'analyse modale spectrale:**Principe :**

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.

V.5) Choix de la méthode :

Dans notre cas la méthode statique équivalente n'est pas applicable puisque notre bâtiments ne vérifient pas toutes les conditions de l'article (4.1.2), D'où la méthode choisit sera **la méthode d'analyse modale spectrale.**

V.6) Modélisation:

La modélisation est la détermination d'un modèle, tenant compte le plus correctement possible de la masse et de la raideur de tous les éléments d'une structure, qui est par la suite une phase essentielle pour l'étude de la réponse au séisme.

Le choix du modèle représente une phase très importante de l'étude : plus il se rapproche de la réalité, plus l'étude ne sera précise. C'est également une phase délicate : un mauvais modèle peut s'écarter totalement de la réalité, ou encore l'incohérence des hypothèses peut apporter un degré de précision illusoire.

La modélisation doit rendre compte du comportement mécanique réel du bâtiment : il ne s'agit pas toujours de recopier simplement le plan du bâtiment, il faut surtout prendre en compte le comportement des éléments d'ossature pour les utiliser de la meilleure manière.

V.6.1- Modélisation des structures :

L'analyse dynamique nécessite toujours initialement de créer un modèle de calcul représentant la structure. Ce modèle introduit ensuite dans un logiciel de calcul dynamique. **ETABS 9.7.1** est un logiciel de calcul des structures de génie civil (bâtiments, châteaux d'eau...) et des travaux publics (ponts, tunnels...). Il offre de nombreuses possibilités d'analyse des effets statiques et dynamiques avec des compléments de conception. Il permet aussi la vérification des structures en béton armé ou en charpente métallique, L'interface graphique disponible facilite, considérablement, la modélisation et l'exploitation des résultats.

V.6.2- Etapes de modélisation :

Les poutres et les poteaux sont modélisés par des éléments «Frame » Les poutres entre deux nœuds de même niveau « i », Les poteaux entre deux nœuds de différents niveaux « i et i+1 », Les voiles sont représentés par des éléments coques « Shell » à quatre nœuds, Chaque plancher a été modélisé par un diaphragme, Les planchers sont supposés indéformables dans leurs plans, La masse de chaque niveau est répartie sur les nœuds du niveau considéré, Pour tous les éléments non modélisés, leurs masses sont calculées et réparties sur les nœuds.

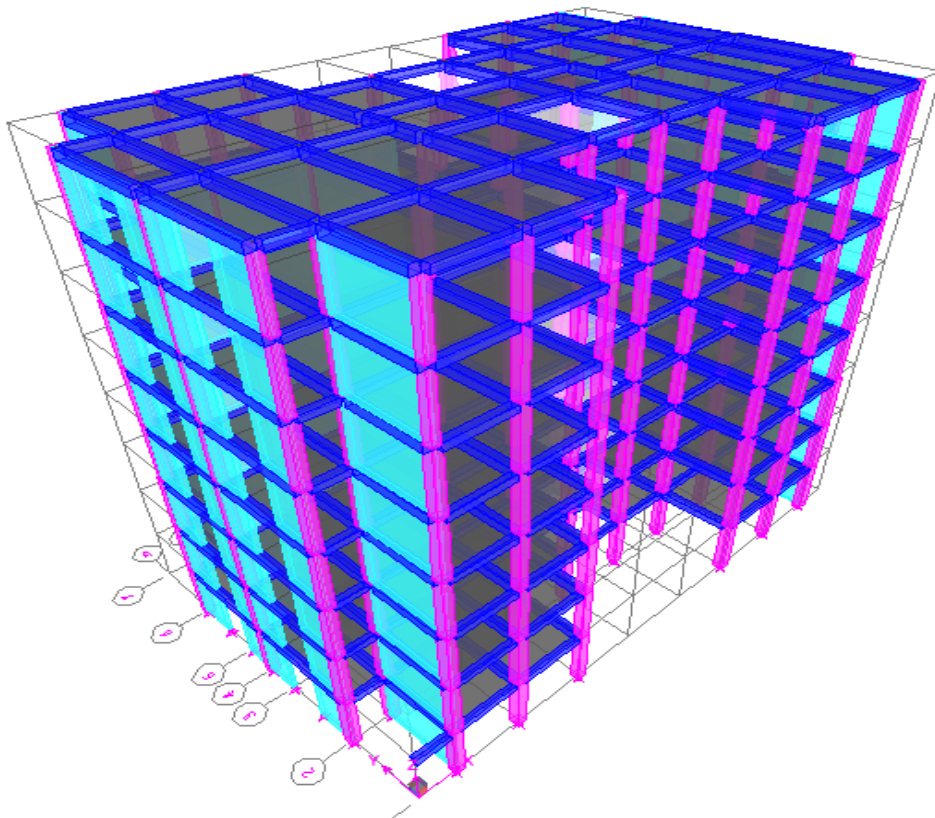


Figure V-1 : La structure sur le «ETABS 9.7.1»

V.6.3- L'analyse :

Après la modélisation de la structure et la distribution des masses et des chargements ainsi que la définition des combinaisons de charges, on passe à l'analyse.

ETABS 9.7.1 offre les possibilités d'analyses suivantes :

- Analyse statique linéaire.
- Analyse P-Delta.
- Analyse statique non linéaire.
- Analyse dynamique

V.6.4- Analyse dynamique :

L'analyse dynamique disponible dans le SAP2000 comporte l'analyse modale et l'analyse Spectrale.

V.6.5-Spectre de réponse de calcul:

Le RPA99/version 2003 (art.4.13) impose un spectre de réponse de calcul défini par la fonction Suivante :

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1,25A \left(1 + \frac{T}{T_1}\right) \left(2,5\eta \frac{Q}{R} - 1\right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2,5\eta(1,25A) \times \left(\frac{Q}{R}\right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta(1,25A) \left(\frac{Q}{R}\right) \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0 \text{ s} \\ 2,5\eta(1,25A) \left(\frac{T_2}{3}\right)^{2/3} \left(\frac{3}{T}\right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R}\right) & T > 3.0 \text{ S} \end{cases}$$

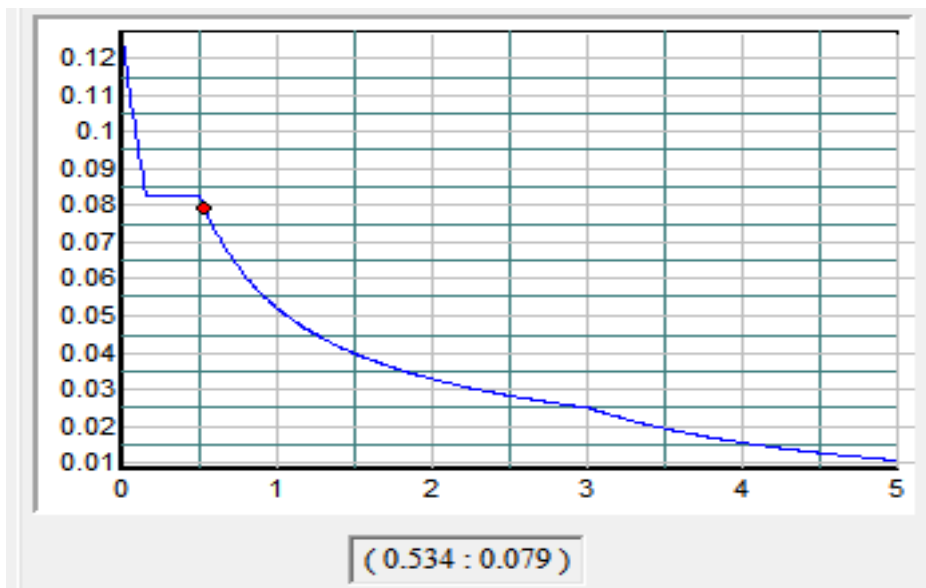


Figure V-2 : Spectre de réponse.

Avec : $\frac{\delta_a}{g}$ spectre de réponse de calcul.

Et :

A : Coefficient d'accélération de zone.

η : Facteur de correction d'amortissement (quand l'amortissement est différent de 5%)

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

ξ : Pourcentage d'amortissement critique en fonction du matériau constitutif du type de structure et de l'importance des remplissages, il est donné par le tableau suivant :

Tableau V-1 : Pourcentage d'amortissement critique.

Remplissage	Portiques		Voiles ou murs
	Béton armé	Acier	Béton armé / Maçonnerie
Léger	6	4	10
Dense	7	5	

$$\xi = 10\% \begin{cases} \text{Portique en béton armé.} \\ \text{Remplissage dense.} \end{cases}$$

$$\eta = \sqrt{7/(2 + 10)} = 0,76 \geq 0,7$$

$$Q : \text{Facteur de qualité : } Q = 1 + \sum_1^6 P_q$$

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

Tableau V-2: Pénalité à retenir pour le critère de qualité.

Critère q	P_q	
	Observé	Non observé
1. Condition minimales sur les filles de contreventement	0	0,05
2. Redondance en plan	0	0,05
3. Régularité en plan	0	0,05
4. Régularité en élévation	0	0,05
5. Contrôle de la qualité des matériaux	0	0,05
6. Contrôle de la qualité de l'exécution	0	0,1

Voici les critères à prendre en compte :

$$Q = 1 + (0 + 0 + 0,05 + 0,05 + 0 + 0,10) = 1,20$$

$$Q = 1,20$$

Régularité en plan :

$$\frac{l_x}{l_y} = \frac{1,85}{3,35} = 0,55 > 0,25 \text{ donc : le batiment est irrégulier en plan.}$$

$l_x; l_y$: la distance entre axe.

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

Tableau V-3 : Valeurs de T1 et T2.

Site	S_1	S_2	S_3	S_4
$T_{1(Sec)}$	0,15	0,15	0,15	0,15
$T_{2(Sec)}$	0,3	0,4	0,5	0,7

- Sol meuble \Rightarrow Site 3

$$\text{donc : } \begin{cases} T_1 = 0,15\text{sec} \\ T_2 = 0,5\text{sec} \end{cases}$$

Les valeurs du coefficient d'accélération de zone « A » sont révisées comme suit :

Tableau V-4: Coefficient d'accélération de zone « A ».

Groupe	Zone			
	I	Iia	Iib	III
1A	0,15	0,25	0,3	0,4
1B	0,12	0,2	0,25	0,3
2	0,10	0,15	0,2	0,25
3	0,07	0,1	0,14	0,18

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

$$\begin{cases} \text{Zone sismique I} \\ \text{Grouped'usage 2} \end{cases} \Leftrightarrow (A = 0,10)$$

R : coefficient t de comportement de la structure.

R : coefficient t de comportement global de la structure donnée par le tableau (4.3)

contreventés mixte $\Rightarrow R = 5$.

Calcul de D :

$$T = C_T \cdot h_n^{3/4} \quad \text{d'ou : } \begin{cases} h_n = 25,84\text{m} \\ C_T = 0,050. \end{cases}$$

Donc : $T = 0,05 \times (25,84)^{3/4} = 0,57 \text{ sec} \dots\dots\dots(1)$

$l_x = 27,30\text{m}$

$l_y = 18,60\text{m}$

$$T = \begin{cases} 0,09 \times h_N / \sqrt{l_x} = 0,09(25,84) / \sqrt{27,30} = 0,45\text{Sec} \dots\dots\dots \text{Suivant (x - x)} \\ \dots\dots\dots(2) \\ 0,09 \times h_N / \sqrt{l_y} = 0,09(25,84) / \sqrt{18,60} = 0,54\text{Sec} \dots\dots\dots \text{Suivant (y - y)} \end{cases}$$

$T_x = \min \{ C_T \times h_N^{3/4}; 0,09 \times h_N / \sqrt{l_x} \} = \min(0,57; 0,45) = 0,45\text{Sec}$

$T_x = 0,45\text{Sec}$

$T_y = \min \{ C_T \times h_N^{3/4}; 0,09 \times h_N / \sqrt{l_y} \} = \min(0,57; 0,54) = 0,54\text{Sec}$

$T_y = 0,54\text{Sec}$

Le facteur d'amplification moyen : D

$$D = \begin{cases} 2,5 \times \eta \text{ ----- } 0 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta \times \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} \text{ ---- } T_2 \leq T \leq 3\text{sec} \\ 2,5\eta \times \left(\frac{T_2}{3}\right)^{2/3} \times \left(\frac{3}{T}\right)^{5/3} \text{ -- } T \geq 3\text{sec} \end{cases}$$

Avec :

T_2 : Période caractéristique associée à la catégorie du site donnée par le tableau (4-7 ; RPA 99 V2003)

(Site S_3) $\Leftrightarrow T_2 = 0,50\text{Sec} \rightarrow T_2 \leq T \leq 3\text{sec} \Rightarrow D_x = 2,5 \eta \left(\frac{T_2}{T_x}\right)^{2/3} = 2,5 \times 0,76 \left(\frac{0,5}{0,45}\right)^{2/3} = 2,04$

Donc : $D_x = 2,04$

$T_2 \leq T \leq 3\text{sec} \Rightarrow D_y = 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T_y}\right)^{2/3} = 2,5 \times 0,76 \left(\frac{0,5}{0,54}\right)^{2/3} = 2$

Donc : $D_y = 2$

$$\text{On a : } V = \frac{A.D.Q}{R}.W$$

$$V_x = \frac{A.D_x.Q}{R}.W_t = \frac{0,10 \times 2,04 \times 1,20}{5} \times 36625,86 = 1793,20 \text{ KN}$$

$$V_y = \frac{A.D_y.Q}{R}.W_t = \frac{0,10 \times 2 \times 1,20}{5} \times 36625,86 = 1758,04 \text{ KN}$$

Calcul de poids total de la structure W_t :

La valeur w à prendre en compte est égale à la somme des poids W_i calculés à chaque niveau i de la structure. D'après le (RPA 99/v.2003) le poids total 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.

β : Coefficient de pondération fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation, le coefficient β est donné par le tableau (4 – 5)(RPA 99/v.2003)

Tableau V-5: Valeurs du coefficient de pondération β

Cas	Type d'ouvrage	β
1	Bâtiments d'habitation, bureaux ou assimilés	0,20
2	Bâtiments recevant du public temporairement : - Salles d'exposition, de sport, lieux de culte, salles de réunions avec places debout. - salles de classes, restaurants, dortoirs, salles de réunions avec places assises	0,30 0,40
3	Entrepôts, hangars	0,50
4	Archives, bibliothèques, réservoirs et ouvrages assimilés	1,00
5	Autres locaux non visés ci-dessus	0,60

Le tableau suivant résume le poids en (KN) aux différents niveaux :

$$S = 427,77\text{m}^2$$

Tableau V.6 : Détermination des poids des différents niveaux W(KN).

Eléments	Poids (KN)	R.D.C- 2 ^{ème} niveau	3 ^{ème} -5 ^{ème} niveaux	6 ^{ème} niveaux	Terrasse
Acrotère	$G_a \times \sum 1_i$	---	---	---	$1,71 \times 105,70$ = 180,75
Plancher	$G \times S$	2019,1	2019,1	2019,1	$6,78 \times 427,77$ = 2900,3
Poteaux	$n \times b \times h \times \gamma_b \times h_t/2$	752,186	594,32	455,03	$46 \times (0,35)^2 \times 25 \times 1,615$ = 227,51
Poutre principale	$b \times h \times \gamma_b \times \sum l$	572,12	563,06	554	554
Poutre secondaire	$b \times h \times \gamma_b \times \sum l$	299,78	305,81	311,85	311,85
Murs extérieurs	$0,8 \times G_m \times (h_t/2) \times \sum l$	746,63	746,63	746,63	$0,8 \times G_m \times h_t/2 \times \sum L$ = 320,55
murs voile	$ep \times h \times \gamma_b \times \sum l$	314,14	323,87	333,6	139,8
Balcon	$G \times S$	75,14	75,14	75,14	-----
Escaliers	$(G_v \times S_v + G_p \times S_p)$	90,85	90,85	90,85	-----
Charge permanente	$\sum G_i$	4555,81	4394,91	4252,6	4494,96
Charge d'exploitation	$P = Q \times S_t$	671,89	671,89	671,89	427,77
Poids total	$G + \beta \times P$	4690,18	4529,28	4386,97	4580,51

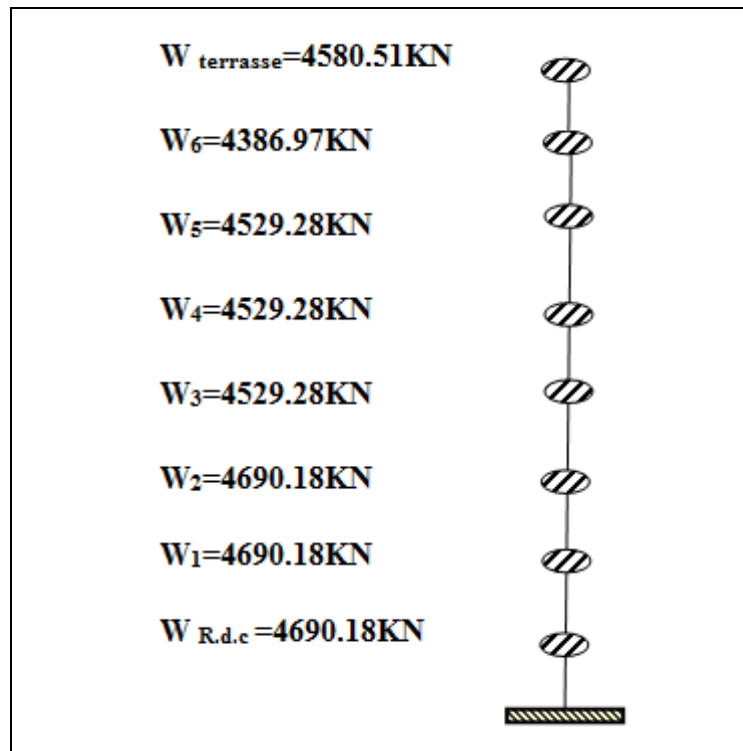


Figure V-3: Représentation des masses par module brochette.

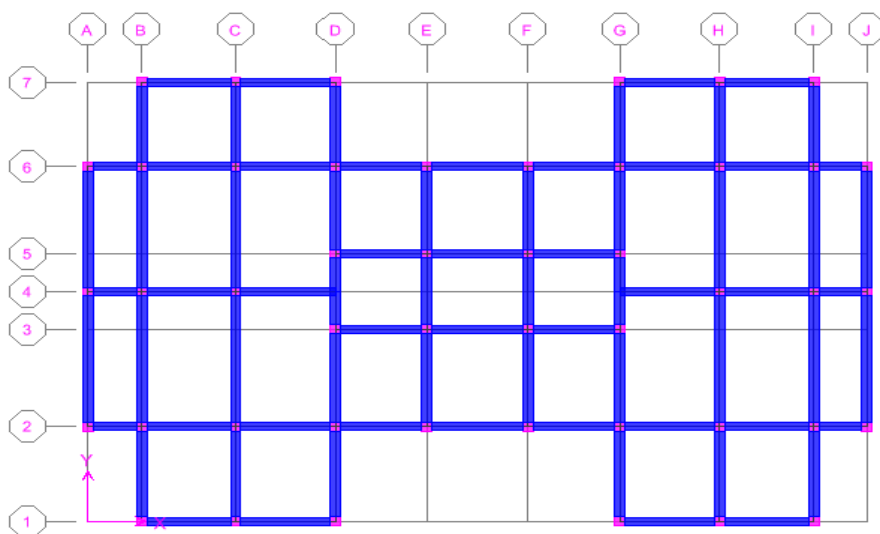
V.7) Chargement des portiques :

V.7.1 -Etude sous les charges verticales :

L'étude sous charges verticales et horizontales nous permet de déterminer tous les efforts qui sollicitent les éléments (poteaux, poutres) dans les différents nœuds et travées. Pour déterminer les sollicitations on a utilisé le programme **ETABS 9.7.1** ce qui nous a permis de calculer les portiques.

V.7.2 -Le chargement :

Pour déterminer le chargement du portique on calcule les charges supportées par les poutres.



V-8) Vérifications :

V.8.1-Calcul des coefficients de participation modale :

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

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

$$W = \sum W_K = 38488,35\text{KN}$$

Le logiciel **ETABS 9.7.1** peut déterminer directement les valeurs des Coefficient de participation modale, les valeurs données sont :

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
1	0,50904	41,2622	0	0	41,2622	0
2	0,41943	0,0001	70,9625	0	41,2623	70,9625
3	0,40918	30,6735	0,0002	0	71,9357	70,9627
4	0,138047	0,3992	0	0	72,335	70,9627
5	0,114491	16,7665	0	0	89,1015	70,9627
6	0,108992	0	17,1844	0	89,1015	88,1471
7	0,063672	0,085	0	0	89,1865	88,1471
8	0,054332	5,9775	0	0	95,164	88,1471
9	0,052707	0	6,2769	0	95,164	94,424
10	0,03841	0,0711	0	0	95,2351	94,424
11	0,03629	2,5316	0	0	97,7666	94,424
12	0,032	0	2,8949	0	97,7666	97,3189

a- Sens longitudinal:

$$\sum \bar{\alpha}_x \geq 90\% \Rightarrow 97,76666\% \geq 90\% \dots\dots\dots \text{c v.}$$

b- Sens transversal:

$$\sum \bar{\alpha}_y \geq 90\% \Rightarrow 97,3189\% \geq 90\% \dots\dots\dots \text{c v.}$$

V.8.2-Calcul de l'effort tranchant :

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

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

Story	Load	Loc	P	VX	VY
STORY8	EX	Bottom	0	372,27	0,02
STORY8	EY	Bottom	0	0,02	361,28
STORY7	EX	Bottom	0	665,99	0,03
STORY7	EY	Bottom	0	0,02	642,29
STORY6	EX	Bottom	0	889,15	0,03
STORY6	EY	Bottom	0	0,03	878,15
STORY5	EX	Bottom	0	1070,46	0,04
STORY5	EY	Bottom	0	0,04	1074,72
STORY4	EX	Bottom	0	1219,58	0,04
STORY4	EY	Bottom	0	0,04	1228,12
STORY3	EX	Bottom	0	1342,57	0,04
STORY3	EY	Bottom	0	0,04	1340,44
STORY2	EX	Bottom	0	1440,67	0,05
STORY2	EY	Bottom	0	0,05	1420,75
STORY1	EX	Bottom	0	1505,29	0,05
STORY1	EY	Bottom	0	0,05	1466,43

a-Sens longitudinal :

$V_{dx} = 1505,29\text{KN} > 80\% V_{st} = 80\% \times 1793,2\text{KN} = 1434,56\text{KN}$c ondition vérifiée.

b.Sens transversal :

$V_{dy} = 1466,43\text{KN} > 80\% V_{st} = 80\% \times 1758,04\text{KN} = 1406,32\text{KN}$cond ition vérifiée.

V.8.3 Vérification de la période :

On doit vérifier aussi que la période dynamique (T_{dyn}) ne doit pas être supérieure à la majoration de 30% de période statique fondamentale "T"

$T_{dyn} = 0,50904 \text{ s} < 1,3 \times T = 1,3 \times 0,45 = 0,585 \text{ s}$ condition vérifiée

Tableau V-7 : Tableau des modes et des périodes

Colonne1	Colonne2
1	0,50904
2	0,41943
3	0,40918
4	0,138047
5	0,114491
6	0,108992
7	0,063672
8	0,054332

V.8.4- Vérification 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% de la hauteur de l'étage.

$$\Delta_K = \delta_K - \delta_{K-1} \leq \bar{\delta}_K ; \text{ Avec : } \delta_K = R \times \delta_{ek}$$

R : coefficient de comportement ; R = 5.

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

Le tableau suivant résume les déplacements relatifs aux différents niveaux dans les deux sens longitudinal et transversal.

TableauV-8 : Les déplacements relatifs de chaque niveau dans le sens longitudinal

Sens longitudinal				
Niveaux	δ_{ek} (m)	$\delta_k = R \cdot \delta_{ek}$	$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1}$	1% h_e (m)
7	0,0034	0,017	0,002	0,0322
6	0,003	0,015	0,0025	0,0322
5	0,0025	0,0125	0,0025	0,0322
4	0,002	0,01	0,0025	0,0322
3	0,0015	0,0075	0,0025	0,0322
2	0,001	0,005	0,002	0,0322
1	0,0006	0,003	0,002	0,0322
RDC	0,0002	0,001	0,001	0,0322

TableauV-9 : Les déplacements relatifs de chaque niveau dans le sens transversal

Sens transversal				
Niveaux	δ_{ek} (m)	$\delta_k = R \cdot \delta_{ek}$	$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1}$	1% h_e (m)
7	0,0052	0,026	0,003	0,0322
6	0,0046	0,023	0,0035	0,0322
5	0,0039	0,0195	0,004	0,0322
4	0,0031	0,0155	0,004	0,0322
3	0,0023	0,0115	0,004	0,0322
2	0,0015	0,0075	0,0035	0,0322
1	0,0008	0,004	0,0025	0,0322
RDC	0,0003	0,0015	0,0015	0,0322

On remarque que tous les déplacements relatifs ne dépassent pas les 1,0% de la hauteur d'étage 1% $h_e=0,0322$; donc la condition est vérifiée.

V.8.5- Vérification de l'effet P-Delta :

Les effets du seconde ordre (ou effet P-Δ) peuvent être négligés dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

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

Avec :

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" ;

$$V_k = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$$

F_t : Force concentrée au sommet de la structure donnée par la formule suivante :

$$\begin{cases} F_t = 0,07 \times T \times V \dots\dots\dots \text{si } T > 0,7\text{sec} \\ F_t = 0 \dots\dots\dots \text{si } T \leq 0,7\text{sec} \end{cases}$$

Dans notre structure ($F_t = 0$) puisque: $T = 0,61\text{Sec} \leq 0,7\text{Sec}$

Les forces F_i sont distribuées sur la hauteur de la structure selon la formule suivante :

$$F_i = (V - F_t) \cdot W_i \cdot h_i / \sum_{j=1}^n W_j \cdot h_j$$

Avec :

F_i : effort horizontal revenant au niveau i

h_i : niveau du plancher où s'exerce la force i

h_j : niveau d'un plancher quelconque.

$W_i ; W_j$: poids revenant au plancher i ; j

Δ_K : Déplacement relatif du niveau «K » par rapport au niveau « K-1 » ;

h_K : Hauteur de l'étage « K ».

$$\text{Si : } \begin{cases} \theta_K \leq 0,1 \Rightarrow \text{Effet P - } \Delta \text{ peut être négligé.} \\ 0,1 < \theta_K \leq 0,2 \text{ Amplifiant les effets de } \frac{1}{(1 - \theta_K)}. \\ \theta_K > 0,2 \Rightarrow \text{Structure instable et doit être redimensionnée.} \end{cases}$$

Tableau V-10 : Vérification à l'effet P- Δ (sens « X »).

V _x (total)								
suivant X	1793,2 kN)							
niveau	RDC	1	2	3	4	5	6	7
hauteur	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22
W _i	4690,18	4690,18	4690,18	4529,28	4529,28	4529,28	4386,97	4580,51
Δ_k	0,002	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,002	0,002	0,001
V _k	1505,29	1440,67	1342,57	1219,58	1070,46	889,15	665,99	372,27
P _k	36625,86	31935,68	27245,5	22555,32	18026,04	13496,76	8967,48	4580,51
$\theta < 0,10$	0,015	0,017	0,015	0,014	0,013	0,009	0,0083	0,0001

Tableau V-11 : Vérification à l'effet P- Δ (sens « Y »).

V _y (total)								
Suivant Y	1758,04 (kN)							
niveau	RDC	1	2	3	4	5	6	7
hauteur	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22
W _i	4690,18	4690,18	4690,18	4529,28	4529,28	4529,28	4386,97	4580,51
Δ_k	0,003	0,0035	0,004	0,004	0,004	0,0035	0,0025	0,0015
V _k	1466,43	1420,75	1340,44	1228,12	1074,72	878,15	642,29	361,28
P _k	36625,86	31935,68	27245,5	22555,32	18026,04	13496,76	8967,48	4580,51
$\theta < 0,10$	0,023	0,024	0,025	0,022	0,02	0,016	0,01	0,0059

Remarque:

($\theta < 0,10$) dans les deux sens. Les effets du deuxième ordre peuvent être négligés pour notre cas. Après ces résultats obtenus dans notre étude dynamique et sismique on peut dire que la structure peut résister aux chocs extérieurs tels que le séisme. Pour cela, nous allons continuer les calculs avec les efforts développés et qui sont déduits du logiciel de modélisation ETABS 9.7.1.