



V. Etude sismique

V.1- Introduction :

Les tremblements de terre ont représenté depuis toujours un de plus graves désastres de l'humanité. Leur apparition brutale est imprévue, la violence des forces mises en jeu et l'énormité des pertes humaines et matérielles ont marqué la mémoire des générations.

Le séisme est un phénomène qui se produit à partir du frottement entre les plaques tectoniques, un déplacement de ces dernières engendre des efforts sismiques qui imposent aux constructions des accélérations pouvant atteindre l'ordre de grandeur de la pesanteur, alors un effort séismique est un effort dynamique (varie en fonction du temps).

Le calcul sismique dans notre étude sera effectué dans le cadre du règlement parasismique algérien [R.P.A.99 (version2003)]

V.2- Méthodes de calcul :

Selon l'article 4.1.1 du RPA.9 (Version 2003), les forces sismiques peuvent être déterminées par deux méthodes :

- Méthode statique équivalente
- Méthode dynamique modale spectrale.

V.2.1- Méthode statique équivalente :

➤ Principe de la méthode :[RPA99 (version 2003)/4.2.1]

Selon cette méthode les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces statiques fictives appliquées successivement dans les 2 directions orthogonales et ayant des effets équivalents à ceux de l'action sismique

Le R.P.A.99 (version2003) permet sous certaines conditions de faire les calculs par cette méthode, qui consiste à considérer la structure comme soumise à un effort tranchant à sa base donné par la formule suivante :

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

Avec :

A : Coefficient d'accélération de zone

D : Facteur d'amplification dynamique moyen

Q : Facteur de qualité

R : Coefficient de comportement

W : Poids total de la structure



Condition d'application : [RPA 99 (version 2003)/4.1.2]

Cette méthode peut être utilisée dans les conditions suivantes :

• Régularité en plan : [RPA99 (version 2003)/3.5.1.a]

1. Le bâtiment doit être présenté une configuration sensiblement symétrique vis-à-vis de deux directions orthogonales ;

2. A chaque niveau la distance entre le centre de masse et le centre de rigidité ne dépasse pas **15%** de la dimension du bâtiment mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique ;

La somme des dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans une direction donnée ne doit pas excéder **25%** de la dimension totale du bâtiment dans cette direction.

3. Le rapport longueur /largeur du plancher est inférieur à 4 ;

4. Les planchers doivent présenter une rigidité suffisante vis-à-vis de celle des contreventements verticaux pour être considérés comme indéformable dans leur plan ;

Dans ce cas la surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieur à 15% de celle de ce dernier.

• Régularité en élévation : [RPA99 (version 2003)/3.5.1.b]

1. Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu, dont la charge ne se transmette pas directement à la fondation.

2. Les raideurs et masses des différents niveaux restent constantes ou diminuent progressivement de la base au sommet du bâtiment.

3. La variation de dimension en plan entre deux niveaux successifs ne dépasse pas **20%**.

La plus grande dimension latérale du bâtiment n'excède pas **1,5** fois sa plus petite dimension.

Outre ces conditions, les conditions complémentaires suivantes :

- Zone I : Tous groupe.
- Zone IIa : Groupe d'usage 3.
- Groupe d'usage 2, si la hauteur est inférieure ou égale à 7 niveaux ou 23m.
- Groupe d'usage 1B, si la hauteur est inférieure ou égale à 5 niveaux ou 17m.
- Groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10m.
- Zone IIb et III groupe d'usage 3 et 2, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 17m.
- Groupe d'usage 1B, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10m.



- Groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 2 niveaux ou 08m.

La méthode statique équivalente n'est pas applicable, dans ce cas on va appliquer la méthode dynamique (le calcul se fait par le logiciel «Etabs 9.7 »).

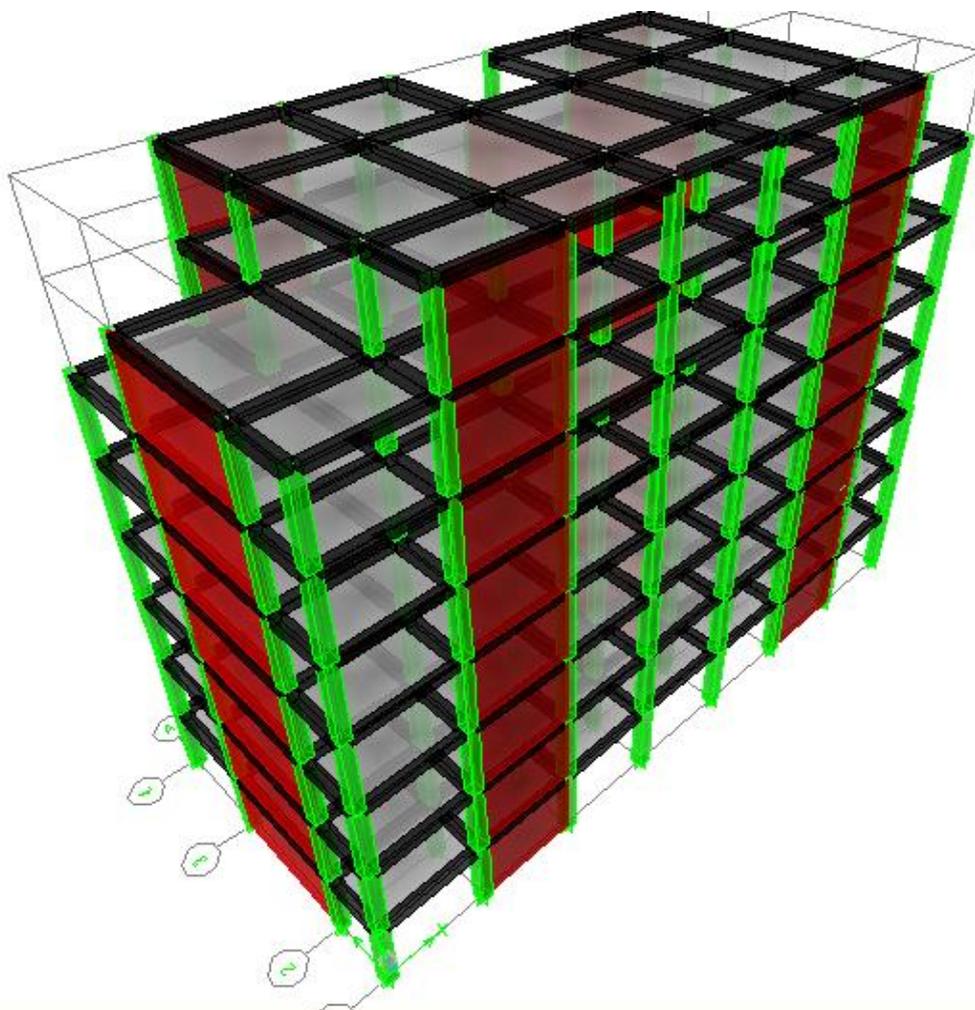


Figure V.1 : Modélisation de la structure sous ETABS

V.2.2- Méthode dynamique :

a) Principe :

Par cette méthode il est recherché pour chaque mode de vibration le maximum des effets engendrés 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.

b) Modélisation :

Notre structure sera représentée par un modèle tridimensionnel encasté à la base, où les masses sont concentrées au niveau des centres de gravité des planchers avec trois degrés de liberté (2 translations horizontales, et une rotation d'axe verticale) [RPA99/v2003 4.3.2].



Présentation du logiciel :

Les réponses de la structure sont déterminées par le logiciel **Etabs 9.7** celui c'est un programme de calcul statique et dynamique de structure à comportement linéaire mis au point à l'université de Berkeley en Californie aux états unis d'Amérique.

Nous avons fait appel au logiciel «**Etabs 9.7**» pour déterminer:

- Les périodes propres.
- Les coefficients de participation modale α_i .
- Les déplacements des planchers.
- Les forces sismiques.
- Les sollicitations internes (M, N, T)

V.3- Etapes de modélisation :

Pour la modélisation nous avons suivi les étapes suivantes :

- Choix du plan du travail : notre structure est un modèle tridimensionnel ;
- Choix de l'unité du travail ; kN et m ;
- Création graphique du modèle en utilisant l'interface du **Etabs 9.7**
- Les poutres et les poteaux sont modélisés par des éléments barres et les voiles dalle pleine par panneau.
- Introduit les propriétés du matériau utilisé: les propriétés du béton (voir chapitre I).
- Introduit les propriétés de chaque élément de la structure : la section et le matériau utilisé ;
- Introduit les conditions aux limites ;
- Détermination des combinaisons de charges :
 - 1) $1.35G + 1.5Q$
 - 2) $G + Q$
 - 3) $0.8G + E$
 - 4) $0.8G - E$
 - 5) $G + Q + E$
- Vérification des erreurs ;
- Lancement de l'analyse ;
- Interprétation des résultats ;



- Détermination du spectre de réponse :

Zone :IIa

Usage	:	2
Assise	:	S ₃
Coefficient de qualité	:	1.15
Coefficient de comportement	:	4.000
Amortissement	:	6.00 %

V.4- interprétation des résultats :

V.4.1- Vérification la résultante des forces sismiques :

La résultante des forces sismiques à la base V_r obtenue par combinaisons des valeurs modales, ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante des forces sismiques déterminées par la méthode statique équivalente V .

1. Calcul la force statique équivalente :

La force sismique totale à la base de la structure doit être calculée dans les deux directions par :

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

Avec :

A : Coefficient d'accélération de zone ;

D : Facteur d'amplification dynamique moyen ;

Q : Facteur de qualité ;

R : Coefficient de comportement ;

W : Poids total de la structure ;

2. Calcul du facteur d'amplification dynamique moyen D :

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(T_2/T)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3s \\ 2.5\eta(T_2/3)^{2/3}(3/T)^{5/3} & T > 3s \end{cases}$$

Avec :

T₂ : Période caractéristique associée à la catégorie du site.

η : Facteur de correction d'amortissement donné par la formule :



$$\eta = \sqrt{7 / (2 + \zeta)} \geq 0.7$$

Où : ζ est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

Portique en béton armé, remplissage léger $\Rightarrow \zeta = 6\%$

$$\eta = \sqrt{7 / (2 + \zeta)} \geq 0.7 = 0.93 > 0.7 \dots \dots \text{Condition vérifiée ;}$$

Site meuble (S_3) $\Rightarrow T_2 = 0.50s$

$$T = C_T h_N^{3/4}$$

h_N : Hauteur mesurée en (m) à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau est égale à 24 m

C_T : Coefficient fonction du système de contreventement, du type de remplissage.

Contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en BA $\Rightarrow C_T = 0.05$

$$T = 0.05 \times (24)^{3/4} \Rightarrow T = 0.54 \text{ sec}$$

$$T \text{ min } \left\{ \begin{array}{l} T = 0.09 \frac{h_n}{\sqrt{D_x}} = 0.53 \text{ sec.} \end{array} \right.$$

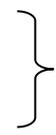
$$T = 0.09 \frac{h_n}{\sqrt{D_y}} = 0.62 \text{ sec}$$

$$T_{\text{min}} = 0.53s$$

3. Coefficient d'accélération de zone A :

-Zone IIa $\Rightarrow A = 0.15$

-Groupe 2 (Ouvrage courants ou d'importance moyenne)



4. Coefficient de comportement R :

Portiques contreventés par des voiles $\Rightarrow R = 4$ [RPA99 (version 2003)/tableau 4.3]



a) Facteur de qualité Q :

Tableau.V.1: Valeurs des pénalités P_q

Critère q »	P_q	
	Observé	N/observé
1. Conditions minimales sur les files 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	0,10

$$Q = 1 + \Sigma P_q = 1 + 0,15 = 1,15$$

$$Q = Q_x = Q_y = 1,15 \Rightarrow V_x = V_y = V$$

b) Calcul du poids de la structure W :

$$W = \sum W_{Gi} + \beta \sum W_{Qi} \text{ [RPA99version2003/formule 4.5]}$$

Avec :

W_{Gi} : Poids du aux charge permanentes ;

W_{Qi} : Poids du aux charges d'exploitation ;

$\sum W_{Gi}$: Résultante des réactions verticales dues aux charges permanentes ;

$\sum W_{Qi}$: Résultante des réactions verticales dues aux charges d'exploitation ;

Remarque : le poids total de la structure est donné par le logiciel Etabs 9.7

$$W = 3364,85 \text{ kN}$$

$$\text{Donc : } V = \frac{A.D.Q}{R} . W = \frac{0,15 \times 2,26 \times 1,15}{4} \times 3364,85 = 327,94 \text{ kN}$$



c) La résultante des forces sismiques :

Après l'interprétation des résultats du fichier **Etabs 9.7**, la résultante des forces sismiques à la base est égale à :

Sens xx

$$V_x = 3090,3 \text{ kN} > 80\% V \quad \Rightarrow \quad \text{Condition vérifiée.}$$

Sens yy

$$V_y = 341,51 \text{ kN} > 80\% V \quad \Rightarrow \quad \text{Condition vérifiée.}$$

V.4.2 Vérification de la période : [RPA99 (version 2003)/4.2.4.4] :

La valeur de (T) calculé à partir de la méthode numérique ne doit pas dépasser celle estimée à partir des formules empiriques appropriées de plus de 30%

$$T_{\text{dyn}} = 0,55 \text{ s} < 1,3 \times T_{\text{amp}} = 1,3 \times 0,53 \Rightarrow \text{Condition Vérifiée.}$$

V.4.3 Nombre de modes à considérer : [RPA99 version 2003/4.3.4] :

Pour les structures représentées par des modèles plans dans 2 directions orthogonales, le nombre de modes de vibration à retenir dans chacune des 2 directions d'excitation doit être tel que la somme des masses modales effectives supérieur à 90% au moins de la masse totale de la structure (le nombre minimum de modes à retenir est de 03 dans chaque direction considérée).

Dans notre cas, la condition décrite ci-dessus n'est pas satisfaite pour 3 modes. => le nombre minimal de modes (K) à retenir doit être tel que : $K \geq 3\sqrt{N}$ et $T_k < 0,2 \text{ S}$



Tableau V.2 :Les coefficients de participation modale

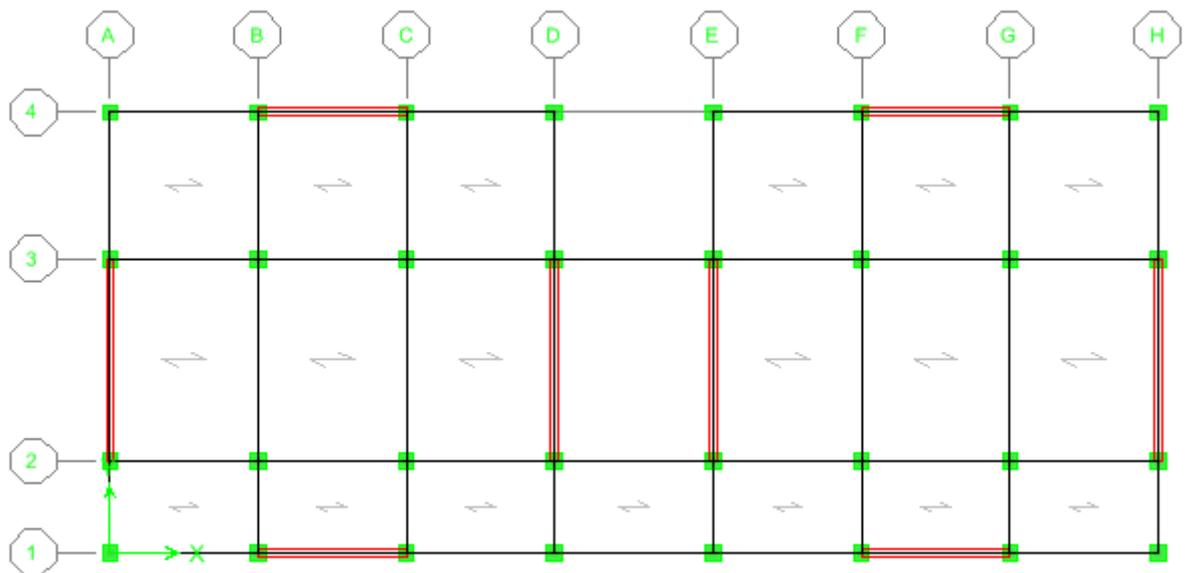
Mode	Période	Ux	Uy	SumUx	SumUy
1	0.545704	67.1296	0.0000	67.1296	0.0000
2	0.371457	0.0000	67.8036	67.1296	67.8036
3	0.337897	0.0094	0.0000	67.139	67.8036
4	0.12697	20.2116	0.0000	87.3506	67.8036
5	0.090174	0.0000	20.4428	87.3506	88.2464
6	0.085966	0.0015	0.0000	87.3521	88.2464
7	0.055875	7.1565	0.0000	94.5086	88.2464
8	0.046139	0.0172	6.4859	94.5258	88.2464
9	0.042839	0.0000	0.0000	94.5258	94.7324

Avec : N : le nombre de niveaux au-dessus du sol (N = 8 niveaux)

Tk : la période du mode K

=> $K \geq 3\sqrt{8} = 8,48 \Rightarrow K = 9 \text{ mod } es \ T9 = 0.042839 < 0,2S \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$

➤ **Disposition des voiles :**

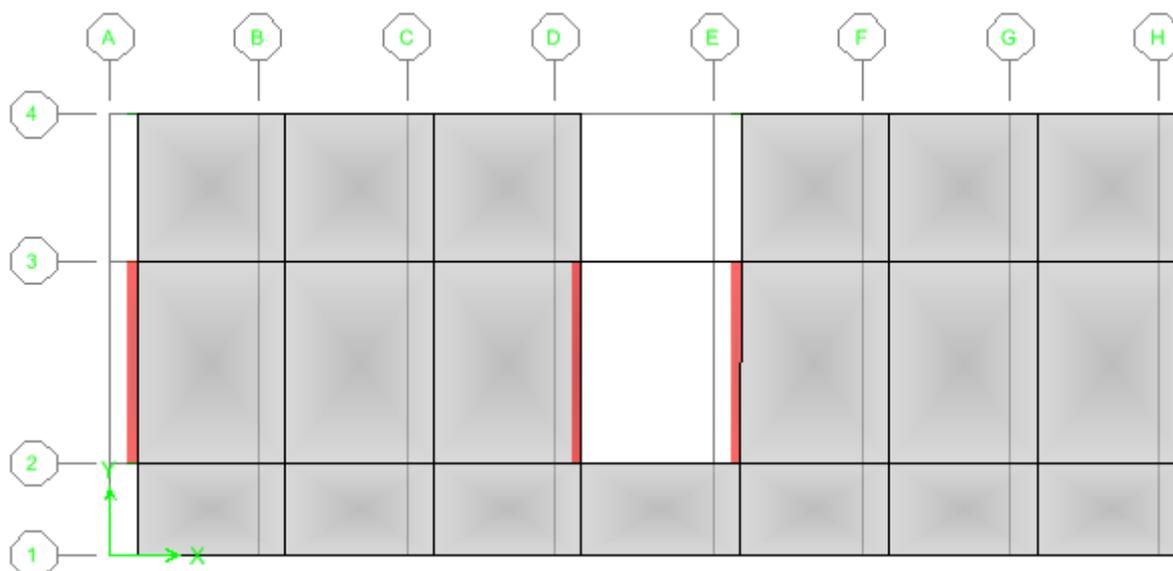


-Figure V.2 : Disposition des voiles

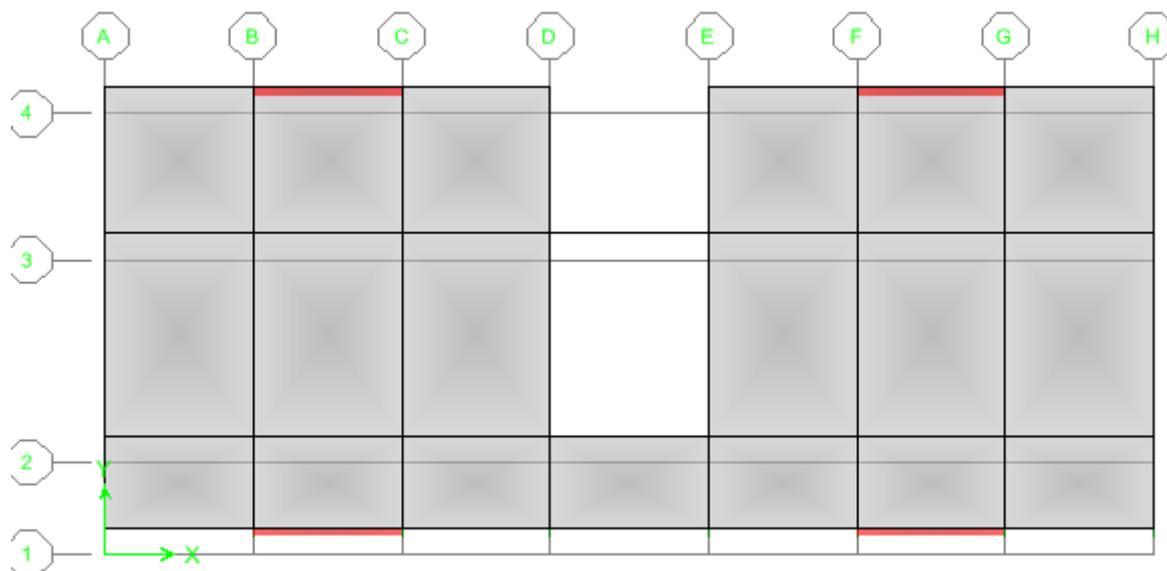


Les trois premiers modes de vibration sont comme suit :

1^{ère} mode :(translation)



2^{ème} mode :(translation)





3^{ème} mode :(rotation)

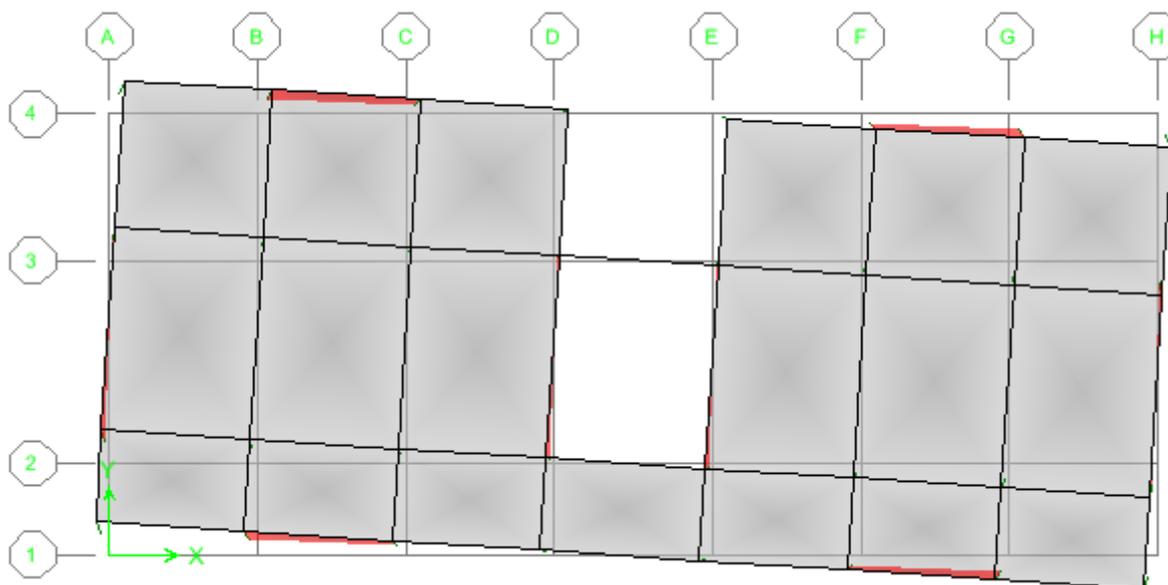


Figure V.3 : Analyse de la structure dans les trois directions

➤ Les coefficients de participation modale :

On doit vérifier $\sum \alpha_l \geq 90\%$

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

a- sens longitudinale :

$\sum \alpha_x = 94.5258\% \geq 90\%$condition vérifiée

b- sens transversale :

$\sum \alpha_y = 94.7324\% \geq 90\%$condition vérifiée

V.4.4.Calcul et vérification des déplacements :

D’après le RPA 99 (version 2003) [art.4.4.3] le déplacement horizontale de chaque niveau (K) de la structure est calculé comme suit : $\delta_K = R \times \delta_{eK}$

Avec :

δ_k : Déplacement horizontal au niveau k ;

δ_{ek} : Déplacement horizontal dû aux forces sismiques obtenu par **Etabs 9.7**;

R : Coefficient de comportement de la structure ;

Le déplacement horizontal relatif au niveau (K) par rapport au niveau (K-1) est égal :



$$\Delta K = \delta_K - \delta_{(K-1)}$$

Déplacement relatif admissible (toléré) : [RPA99version2003/5.10]

$$\Delta_{radm} = 1\% h_e$$

h_e: Hauteur d'étage ;

Remarque :

La vérification du déplacement de tous les niveaux effectuée sur le tableau suivant :

Tableau. V.3: vérification du déplacement de tous les niveaux

Niveau	sens longitudinal			Sens transversal.			Comparai
	$\delta_k(\text{mm})$	$\delta_k=R.\delta_eK(\text{m})$	$\Delta k(\text{m})$	$\delta_k(\text{mm})$	$\delta_k=R.\delta_eK(\text{m})$	$\Delta k(\text{mm})$	son.
8	0.008	0.032	0.0052	0.0008	0.0032	0.0004	0.03
7	0.0067	0.0268	0.0052	0.0007	0.0028	0.0026	0.03
6	0.0054	0.0216	0.0048	0.0005	0.002	0.0004	0.03
5	0.0042	0.0168	0.0008	0.0004	0.0016	0.0004	0.03
4	0.004	0.016	0.0084	0.0003	0.0012	0.0004	0.03
3	0.0019	0.0076	0.0036	0.0002	0.008	0.0004	0.03
2	0.001	0.004	0.0028	0.0001	0.0004	0.0004	0.03
1	0.0003	0.0012	0.0012	0	0	0	0.03

V.4.5. Justification vis-à-vis de l'effet P-Δ : [RPA99 version 2003/5.9]

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 :

$$\theta = \frac{P_k \times \Delta_k}{V_k \times h_k} \leq 0.10$$

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 ;

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



Δ_k : Déplacement relatif du niveau k par rapport au niveau (k-1) ;

h_k : Hauteur de l'étage k ;

Si : $0.10 < \theta_k \leq 0.20$, les effets P- Δ 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^o

ordre par le facteur $\frac{1}{(1 - \theta_k)}$

Si $\theta_k > 0.20$, la structure est potentiellement instable et doit être redimensionnée

Tableau V.4: Vérification à l'effet P- Δ (longitudinale)

Mode	P_k	Δ_{kx}	$P_k \cdot \Delta_{kx}$	V_{kX}	H_k	$V_{kx} h_k$	θ_{Kx}	$\theta_{K \leq 0.1}$
7	5399,1	0.0052	1,76	83,7	3	251,1	0.007	CV
16	894,44	0.0052	4,65	165	3	495	0.009	CV
5	1461,7	0.0048	7,016	236,7	3	710,1	0.009	CV
4	2029	0.0008	1,62	295,4	3	886,2	0.0018	CV
3	2596,3	0.0084	21,81	341,7	3	1024,2	0.02	CV
2	3177,4	0.0036	11,44	377,6	3	1132,8	0.01	CV
1	3758,4	0.0028	10,52	403	3	1209	0.008	CV
RDC	4337,5	0.0012	5,2	416	3	1248	0.0042	CV

Tableau V.5 : Vérification à l'effet P- Δ .(transversale)

Mode	P_k	Δ_{ky}	$P_k \cdot \Delta_{ky}$	V_{kY}	H_k	$V_{ky} h_k$	θ_{Ky}	$\theta_{K \leq 0.1}$
7	399,1	0.0004	0,16	8,3	3	24,9	0.0064	CV
6	894,44	0.0026	2,32	16,9	3	50,7	0.045	CV
5	1461,7	0.0004	0,58	24,6	3	73,8	0.0078	CV
4	2029	0.0004	0,8	30,8	3	92,4	0.0086	CV
3	2596,3	0.0004	1,04	35,8	3	107,4	0.0096	CV
2	3177,4	0.0004	1,27	39,7	3	119,1	0.01	CV
1	3758,4	0.0004	1,5	42,5	3	127,5	0.01	CV
RDC	4337,5	0	0	44	3	132	0	CV



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