

## V.1 Introduction :

Cette étude est fondée essentiellement sur le règlement parasismique algérien RPA99/V2003 qui nous permettra de choisir la méthode de calcul, Et à l'aide d'un logiciel de calcul (ETABS) on modélise et on obtient les périodes et les modes de notre ouvrage.

Les tremblements de terre ont représenté toujours un des plus graves désastres de l'humanité.

La prédiction sûre et précise des séismes, si elle était possible, pourrait éviter les pertes de vies humaines mais ne saurait sauvegarder le patrimoine bâti, la seule protection efficace est la construction parasismique.

Les règlements parasismiques visent à assurer une protection acceptable des vies humaines et des constructions vis-à-vis des effets des actions sismiques par une conception et un dimensionnement appropriés.

En Algérie, les règles parasismiques Algériennes « **RPA 99/ V 2003** » définissent les règles ainsi que les dispositions constructives.

## V.2 Présentation des différentes méthodes d'estimation des forces sismiques :

Différentes méthodes ont été élaborées pour estimer les forces sismiques pouvant solliciter une structure, On citera :

- La méthode statique équivalente ;
- La méthode d'analyse modale spectrale ;
- La méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes.

## V.3 Méthode statique équivalente :

### V.3.1 Définition :

Cette méthode consiste à remplacer l'ensemble des forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction par un système de forces fictives dont les effets sont considérés équivalents à ceux de l'action sismique.

Cette méthode ne peut être dissociée de l'application rigoureuse des dispositions constructives garantissant à la structure :

- une ductilité suffisante ;
- une capacité de dissiper l'énergie vibratoire transmise à la structure par des secousses sismiques majeures.

### V.3.2 Conditions d'application de la méthode statique équivalente :

La méthode statique équivalente peut être utilisée dans les conditions suivantes :

- a. Le bâtiment ou bloc étudié, satisfaisait aux conditions de régularité en plan et en élévation (chapitre III, paragraphe 3.5) avec une hauteur au plus égale à 65m en zones I et IIa et à 30m en zones II et III.
- b. Le bâtiment ou bloc étudié présente une configuration irrégulière tout en respectant, outre les conditions de hauteur énoncées en a), les conditions complémentaires suivantes :

**Zone I :**

- tous groupes.

**Zone IIa :**

- groupe d'usage 3.
- groupes d'usage 2, si la hauteur est inférieure ou égale à 7 niveaux ou 23 m.
- groupe d'usage 1B, si la hauteur est inférieure ou égale à 5 niveaux ou 17 m.
- groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10 m.

**Zone IIb et III :**

- groupes d'usage 3 et 2, si hauteur est inférieure ou égale à 5 niveaux ou 17 m.
- groupe d'usage 1B, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10 m.
- groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 2 niveaux ou 08 m.

**V.4 Méthode d'analyse modale spectrale:****V.4.1 Principe de la méthode :**

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 extremums 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.4.2 Modélisation**

Nous utiliserons les étapes suivantes dans la modélisation de notre structure :

- Détermination des propriétés des matériaux utilisés :
- Les propriétés du béton (voir chapitre I).
- Détermination des caractéristiques géométriques des éléments utilisées:(voir chapitre II).
- Détermination les conditions aux limites :

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 (deux translations horizontales et, une rotation d'axe verticale). [RPA99/4.3.2]

- Détermination de la descente des charges :

-Détermination des forces sismiques E :

Ils sont distribués horizontalement verticalement sur les éléments proportionnels à leurs rigidités par l'introduction d'un spectre de réponse dans deux directions orthogonale (X et Y)

-Détermination des combinaisons des charges :

- |                   |                       |
|-------------------|-----------------------|
| 1) $1.35G + 1.5Q$ | 5) $G + Q \pm E_X$    |
| 2) $G + Q$        | 6) $G + Q \pm E_Y$    |
| 3) $0.8G \pm E_X$ | 7) $G + Q \pm 1.2E_X$ |
| 4) $0.8G \pm E_Y$ | 8) $G + Q \pm 1.2E_Y$ |

### V.5 Méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes :

Le même principe que la méthode d'analyse spectrale sauf que pour ce procédé, au lieu d'utiliser un spectre de réponse de forme universellement admise, on utilise des accélérogrammes réels.

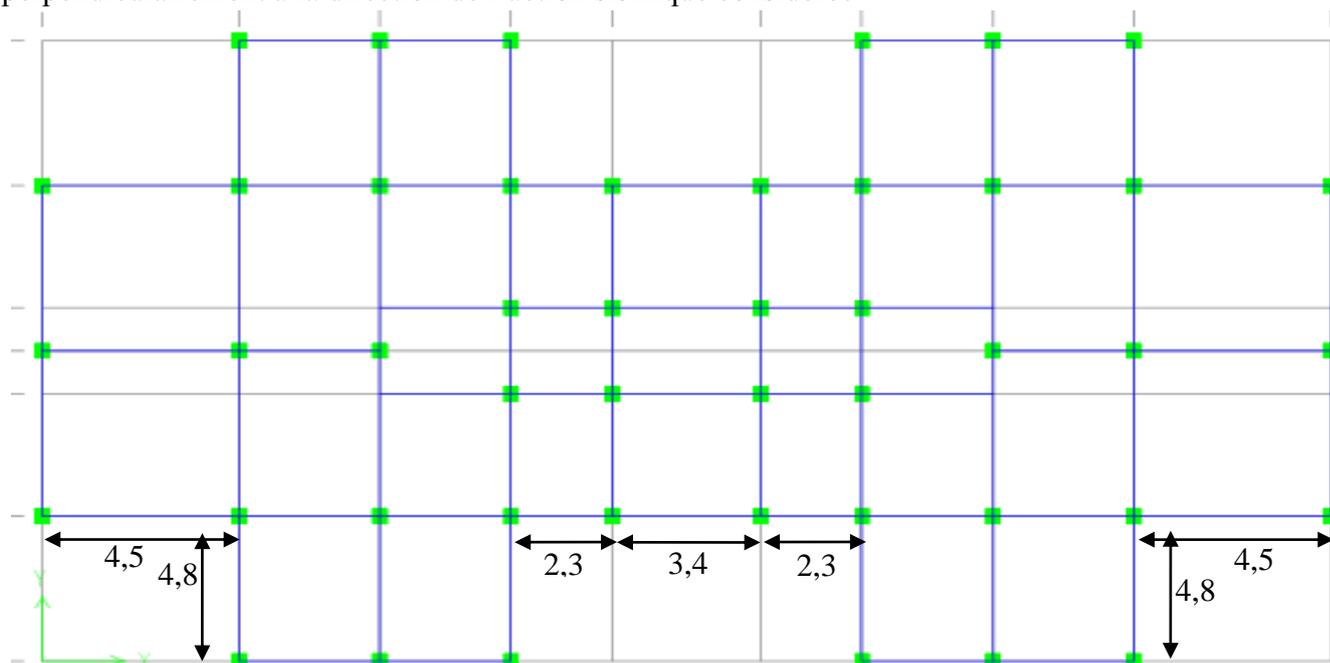
Cette méthode repose sur la détermination des lois de comportement et la méthode d'interprétation des résultats. Elle s'applique au cas par cas pour les structures stratégiques (centrales nucléaires par exemple) par un personnel qualifié.

### V.6 Choix de la méthode de calcul :

#### V.6.1 Configuration en plan bâtiment :

a2. Chaque bâtiment doit être classé selon sa configuration en plan et en élévation en bâtiment régulier ou non, selon les critères ci-dessous :

À chaque niveau et pour chaque direction de calcul, la distance entre le centre de gravité des masses et le centre des rigidités ne dépasse pas 15% de la dimension du bâtiment mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique considérée.



**FigV.1-Configuration en plan.**

**a3.** La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport longueur / largeur du plancher inférieur. 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.

$$\frac{l_x}{L_x} \leq 0,25 \quad ; \quad \frac{l_y}{L_y} \leq 0,25 \quad ; \quad \frac{L_x}{L_y} \leq 4$$

$$\frac{2 \times (4,5 + 2,3 + 3,4 + 2,3 + 4,5)}{29,4} = 0,15 < 0,25 \dots\dots\dots \text{vérifié}$$

$$\frac{(4,8 \times 8)}{18} = 2,13 > 0,25 \dots\dots\dots \text{non vérifié}$$

Le calcul sismique se fera par la méthode dynamique spectrale du fait que notre bâtiment ne répond pas aux critères exigés par le RPA99 pour pouvoir utiliser la méthode statique équivalente. (Irrégularité en plan).

### V.6.2 La modélisation de la structure :

La structure étudiée présente une irrégularité en plan, comportant des planchers rigides. Elle sera représentée par un modèle tridimensionnel encasté à la base où les masses sont concentrées au niveau du centre de masse du plancher avec trois degrés de liberté (deux translations horizontales et une rotation autour de l'axe vertical).

## V.7 Présentation du logiciel du calcul ETABS

ETABS est un logiciel de calcul conçu exclusivement pour le calcul des bâtiments. Il permet de modéliser facilement et rapidement tous types de bâtiments grâce à une interface graphique unique. Il offre de nombreuses possibilités pour l'analyse statique et dynamique. Ce logiciel permet la prise en compte des propriétés non-linéaires des matériaux, ainsi que le calcul et le dimensionnement des éléments structuraux suivant différentes réglementations en vigueur à travers le monde (Euro code, UBC, ACI...Etc.).

De plus de par sa spécificité pour le calcul des bâtiments, ETABS offre un avantage certain par rapport aux codes de calcul à utilisation plus étendue. En effet, grâce à ces diverses fonctions il permet une descente de charge automatique et rapide, un calcul automatique du centre des masses et des rigidités, ainsi que la prise en compte implicite d'une éventuelle excentricité accidentelle. De plus, ce logiciel utilise une terminologie propre au domaine du bâtiment (plancher, dalle, trumeau, linteau etc.).

La masse des planchers est calculée de manière à inclure la quantité  $\beta Q$  selon RPA99/version 2003 (dans notre cas  $\beta=0,2$ ) correspondant à la surcharge d'exploitation. La masse des éléments

modélisés est introduite de façon implicite, par la prise en compte du poids volumique correspondant à celui du béton armé à savoir  $2,5 \text{ t/m}^3$ .

### V.7.1 Méthode de calcul :

Pour l'évaluation des forces sismiques, on utilise le logiciel ETABS qui peut les calculer suivant différentes méthodes : Response Spectrum Function, Time HistoryFunction,...

Response Spectrum Function a été choisi parce qu'elle est basée sur la méthode dynamique modale spectrale et 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 maitre) ;
- 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.7.2 Méthode d'analyse modale spectrale :

#### V.7.2.1 Principe de la méthode :

Le principe de cette méthode est de rechercher, pour chaque mode de vibration, le maximum des effets qu'engendrent les forces sismiques dans la structure, représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces effets seront combinés pour avoir la réponse de la structure. La méthode la plus couramment employée pour le calcul dynamique des structures sont basées sur l'utilisation de spectre de réponse.

La méthode d'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.

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

- Critères de classification par RPA 99/V 2003 :

#### V.7.2.2 Classification des zones sismiques :

- Le territoire national est divisé en quatre (4) zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones de sismicité et le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par commune.
- - ZONE 0 : sismicité négligeable.

- - ZONE I : sismicité faible.
- - ZONE IIa et IIb : sismicité moyenne.
- - ZONE III : sismicité élevée.
- Dans notre cas, et d’après la carte et le tableau cité précédemment :
- Saida se situe dans une zone de sismicité faible ‘ZONE I’.

**V.7.2.3 Classification de l’ouvrage selon leur importance :**

- La classification des ouvrages se fait sur le critère de l’importance de l’ouvrage relativement au niveau sécuritaire, économique et social.
- Groupe 1A : ouvrages d’importance vitale.
- Groupe 1B : ouvrages de grande importance.
- Groupe 2 : ouvrages courant ou d’importance moyenne.
- Groupe 3 : ouvrages de faible importance.

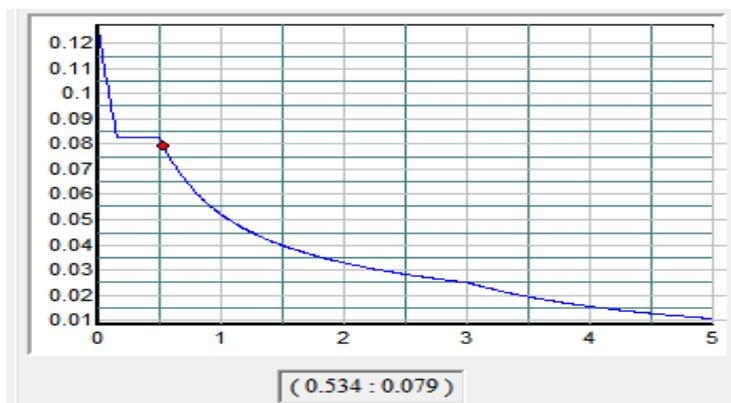
**V.7.3 Définition du spectre de réponse de calcul :**

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.



**FigV.2-Spectre de réponse.**

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.

R : coefficient de comportement de la structure ;

$S_a$  : L'accélération maximale ;

g: La gravité.

#### **V.7.4 Classification du site :**

Les sites sont classés en quatre catégories en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent.

##### **V.7.4.1 Catégorie S1 (site rocheux) :**

Roche ou autre formation géologique caractérisée par une vitesse moyenne d'onde de cisaillement ( $V_s$ )  $\geq 800$  m/s.

##### **V.7.4.2 Catégorie S2 (site ferme) :**

Dépôts de sables et de graviers très denses et /ou d'argile sur consolidée sur 10 à 20 m d'épaisseur avec  $V_s \geq 400$  m/s à partir de 10m de profondeur.

##### **V.7.4.3 Catégorie S3 (site meuble) :**

Dépôts de sables et de graviers moyennement denses ou d'argile moyennement raide Avec  $V_s \geq 200$  m/s à partir de 10 m de profondeur.

##### **V.7.4.4 Catégorie S4 (site très meuble) :**

- Dépôts de sables lâches avec ou sans présence de couches d'argile molle avec  $V_s \geq 200$  m/s dans les premiers mètres.
- Dépôts d'argile molle à moyennement raide avec  $V_s < 200$  m/s dans les 20 premiers mètres.

Par ailleurs, outre les valeurs des vitesses d'ondes de cisaillement, les valeurs moyennes harmoniques d'autres résultats d'essais (pénétrömètre statique, SPT, pressiomètre...) peuvent être utilisées pour classer un site selon le tableau suivant :

Catégorie	Description	qc(Mpa)	N	P1(Mpa)	Ep(Mpa)	qu(Mpa)	Vs(m/s)
S <sub>1</sub>	Rocheux	-	-	>5	>100	>10	≥800
S <sub>2</sub>	Ferme	>15	>50	>2	>20	>0.4	≥400 <800
S <sub>3</sub>	Meuble	1.5 ~15	10~50	12	5~20	0.1 ~0.4	≥200 <400
S <sub>4</sub>	Très meuble ou présence de 3m au moins d'argile	<1.5	<10	<1	<5	<0.1	≥100 <200

**-Tableau V.1 - Classification du site.**

Selon le rapport géotechnique relatif à notre ouvrage, on est en présence d'un sol meuble  
Donc **catégorie S3**.

### V.8 Calcul de l'action sismique :

Le calcul de la force sismique totale V appliquée à la base de la structure  $V = \frac{A.D.Q}{R}.W$

Est-ce fait par la méthode statique équivalente (qu'il n'est pas valable dans ce cas), et cela

Pour vérifier la condition de la méthode dynamique :  $F > 0,8.V$  (F : la force sismique à la base).

#### V.8.1 Coefficient d'accélération de zone :

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Zone I} \\ A = 0.15 \text{ (Tab 4.1 Art 4.2.3) Du RPA99/V2003.} \\ \text{Groupe d'usage 2} \end{array} \right.$

#### V.8.2 Coefficient de comportement R :

Selon le RPA (tableau 4.3) : un système Portiques contreventés par des voiles: R=4.

#### V.8.3 Facteur de qualité Q :

La valeur de Q est déterminée par la formule :  $Q = 1 + \Sigma Pq$ .

Pq: est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité Q st satisfait ou non ;

Sa valeur est donnée suivant le RPA dans le tableau qui suit :

Critère 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

**-Tableau V.2-** facteur de qualité Q.

$$\sum_{i=1}^6 Pq = (0,00 + 0,00 + 0,50 + 0,00 + 0,05 + 0,10) = 0,20. \Rightarrow Q = 1,20$$

#### V.8.4 Calcul de la période fondamentale de la structure :

Suivant l'ART '4.2.4 de RPA ;  $T = C_T \cdot h_n^{3/4}$

$h_n$  : hauteur mesurée en mètre à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N) ;

$h_n = 18,36\text{m}$  ;

$C_T$  : Coefficient fonction du système de contreventement et du type de remplissage est donné par le tableau 4.6 dans l'article (4.2.4) du RPA99 /version 2003.

On a : contreventement assuré partiellement par des voiles en béton armé donc  $C_T = 0.05$  .

$$T = 0,050 \cdot (18,36)^{3/4} = 0,443 \text{ s}$$

#### V.8.5 Facteur d'amplification dynamique moyen :

Fonction de la catégorie de site, de facteur de correction d'amortissement ( $\eta$ ), et de la période fondamentale de la structure (T).

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

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

$T_2 = 0.5 \text{ sec}$  : site meuble ( $s_3$ ), (tab 4.7 art 4.2.3 du RPA99/V2003).

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}} \geq 0,7 \quad \text{et} \quad 0 \leq T = 0,443 \text{ s} \leq T_2 = 0,5.$$

$$\Rightarrow D = 2,5 \times \eta = 2,5 \times 0,882 = 2,059$$

Où  $\xi$ (%) est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

$\xi = 7\%$  pour un contreventement par voiles donc  $\eta = 0,882 \geq 0,7$

### V.8.6 Poids de la structure existante :

$W$  : poids total de la structure égal à la somme des poids  $W_i$  calculés à chaque niveau (i).

$$W = \Sigma W_i \quad \text{Avec} \quad W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

$W_{Gi}$  : Poids du aux charges permanents et à celles des équipements fixes solidaires de la structure.

$W_{Qi}$  : charge d'exploitation.

$\beta$  : Coefficient de pondération fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par le tableau 4.5 du RPA99 version 2003.

Dans notre cas, (le bâtiment à usage d'habitation et bureautique)  $\beta=0,20$ .

### V.8.7 Détermination des poids ( $W_t$ ) de la structure :

Prenons comme exemple :

#### V.8.7.1 Le niveau (terrasse):

$S_t$  : la surface totale du plancher = 374,33 m<sup>2</sup>

- Acrotère..... $P = G_a \times \sum li = 0,21075 \times 103 = 21,70 \text{ t.}$
- Poids du plancher terrasse..... $P=G.S_i=0,643 \times 374,33 = 240,69 \text{ t.}$
- Poteaux ..... $n \times b \times h \times \gamma_{BA} \times ht/2 = 46 \times 0,40 \times 0,30 \times 2,5 \times 1,53 = 21,11 \text{ t.}$
- Poutre principale ..... $b \times h \times \gamma_{BA} \times \sum L = 0,40 \times 0,30 \times 2,5 \times 145,6 = 43,68 \text{ t.}$
- Poutre secondaire..... $b \times h \times \gamma_{BA} \times \sum L = 0,30 \times 0,35 \times 2,5 \times 139 = 36,48 \text{ t.}$
- Les murs extérieurs..... $0,8 \times G_m \times ht/2 \times \sum L = 0,8 \times 0,271 \times 1,53 \times 113,5 = 37,64 \text{ t.}$
- Les murs voiles..... $e_p \times ht/2 \times \gamma_b \times \sum L = 0,18 \times 1,53 \times 2,5 \times 29 = 20,00 \text{ t.}$

**G= 441,26 t**

**V.8.7.2 Les niveaux 4<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup>, 2<sup>ème</sup>, 1er et RDC (étage courant):**

$S_t$  : la surface totale du plancher = 386,4 m<sup>2</sup>

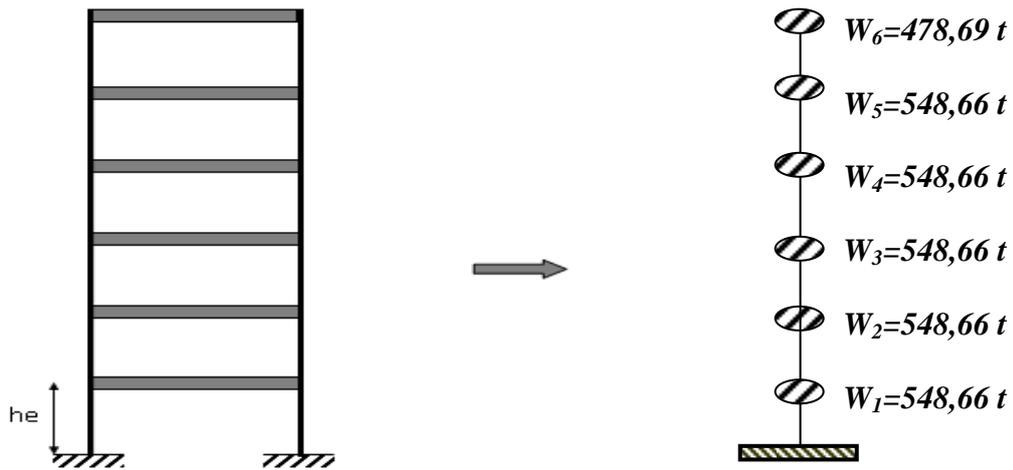
- Poids du plancher ..... $P=G.S=0,509 \times 386,4 = 196,67 \text{ t.}$
- Poteaux ..... $n \times b \times h \times \gamma_b \times h = 46 \times 0,40 \times 0,30 \times 2,5 \times 3,06 = 42,228 \text{ t.}$
- Poutre principale ..... $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,40 \times 0,30 \times 2,5 \times 145,60 = 43,68 \text{ t.}$
- Poutre secondaire..... $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,35 \times 0,30 \times 2,5 \times 142,8 = 37,48 \text{ t.}$
- Les murs extérieurs..... $0,8 \times G_m \times h_t \times \sum L = 0,8 \times 0,271 \times 3,06 \times 113,5 = 75,29 \text{ t.}$
- Les murs voiles..... $e_x \times h_t \times \gamma_b \times \sum L = 0,18 \times 3,06 \times 2,5 \times 29 = 39,93 \text{ t.}$
- Balcon..... $G_B \times S_B = 0,5416 \times 26,68 = 14,44 \text{ t.}$
- Séchoir..... $G_{Séc} \times S_B = 0,5416 \times 14,52 = 7,86 \text{ t}$
- Escalier ..... $G_{esc} \times S_{esc} = 1,74 \times 17,66 = 33,09 \text{ t.}$

**G= 490,70 t**

**V.8.8 Les surcharges d'exploitations : P= Q x St :**

Les niveaux	G (t)	Q (t)	G <sub>i</sub> (t)	P(t)	β	W=G+ β P (t)
terrasse	0,663	0,10	441,26	37,43	0,2	478,69
04	0,509	0,15	490,70	57,96	0,2	548,66
03	0,509	0,15	490,70	57,96	0,2	548,66
02	0,509	0,15	490,70	57,96	0,2	548,66
01	0,509	0,15	490,70	57,96	0,2	548,66
R.D.C	0,509	0,15	470,70	57,96	0,2	548,66

-Tableau V.3- Valeurs des poids.



FigV.4- valeurs des poids de chaque niveau de la structure.

Donc l’effort sismique obtenu par la méthode statique équivalent sera :

$$V = \frac{A.D.Q}{R} .W = \frac{0,15 \times 2,059 \times 1,2}{4} .32219,9 = 2985,33 \text{ KN}$$

**V.9 Vérification des périodes:**

$$1,3 \times T = 1,3 \times 0,443 = 0,5759 \text{sec} ;$$

La période max donnée par ETABS **T=0,4844 s** est inférieure à celle calculée par les formules empiriques données par le RPA99 (formules 4-6 de l’article 4-2-4) **0,575s**

Donc : la condition de art 4.2.4.4 du RPA 99/version 2003 est vérifiée ( $T_e < 1.3T$ ).

Cela nous traduit bonne rigidité dans le bâtiment.

**V.9.1 Calcul de l’excentricité théorique :**

$$e_{x2} = | X_m - X_t | \quad ; \quad e_{y2} = | Y_m - Y_t |$$

**V.9.1.1 Excentricité théorique :**

Niveau	CENTREDEMASSE		CENTREDE TORSION		Excentricité théorique	
	Xg	Yg	Xt	Yt	ex	ey
5	14,7	9,06	14,7	8,77	0	0,29
4	14,7	8,92	14,7	8,77	0	0,15
3	14,7	8,92	14,7	8,76	0	0,15
2	14,7	8,92	14,7	8,75	0	0,17
1	14,7	8,92	14,7	8,71	0	0,21
RDC	14,7	8,92	14,7	8,60	0	0,32

---

**-Tableau V.4 - Excentricité théorique.****V.10 Nombre de modes à considérer :**

Le nombre minimal de modes (K) à retenir doit être tel que :

Selon le RPA99/v2003 article 4-3-4 on a

$K=3 \cdot (N)^{1/2}$  et  $T_k \leq 0.20$  secondes.

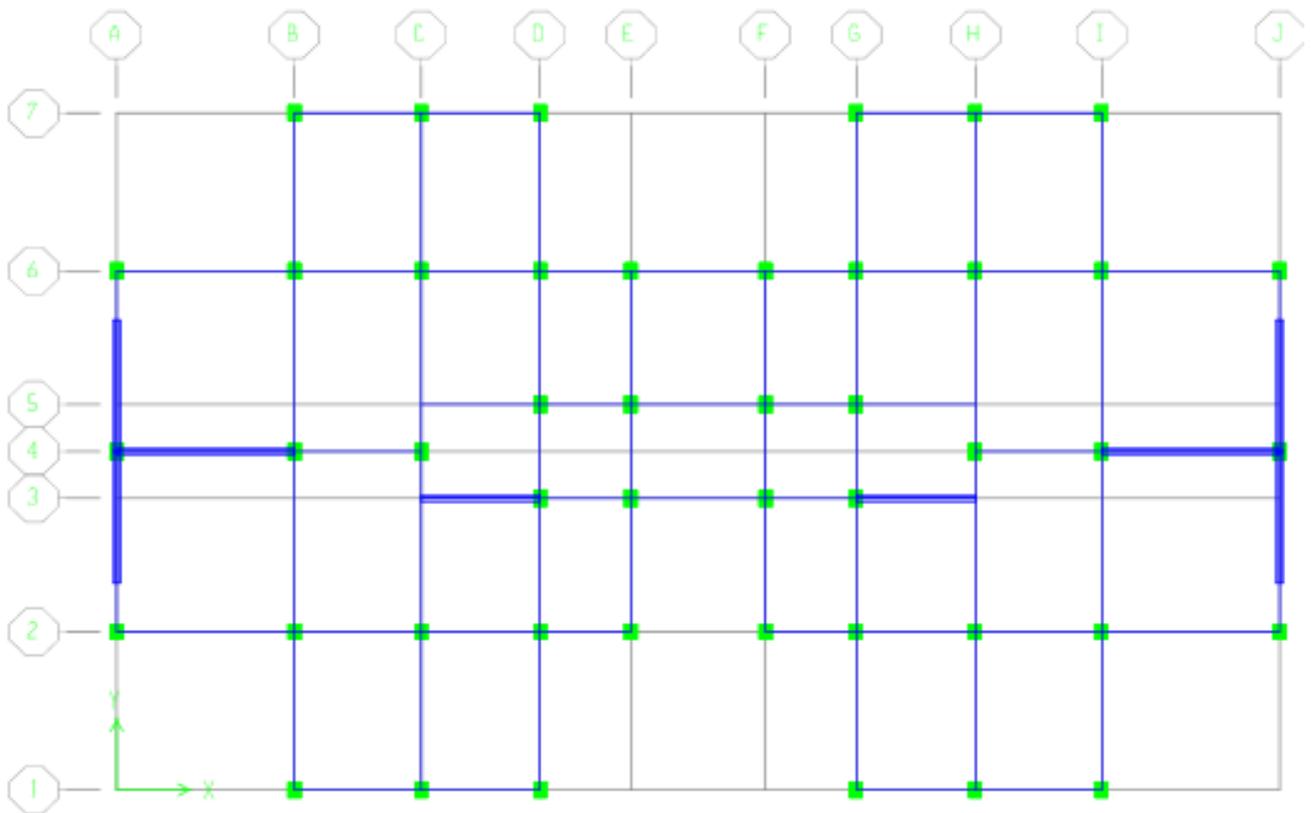
N : le nombre de niveaux au-dessus du sol.

$T_k$ : la période de modes K.

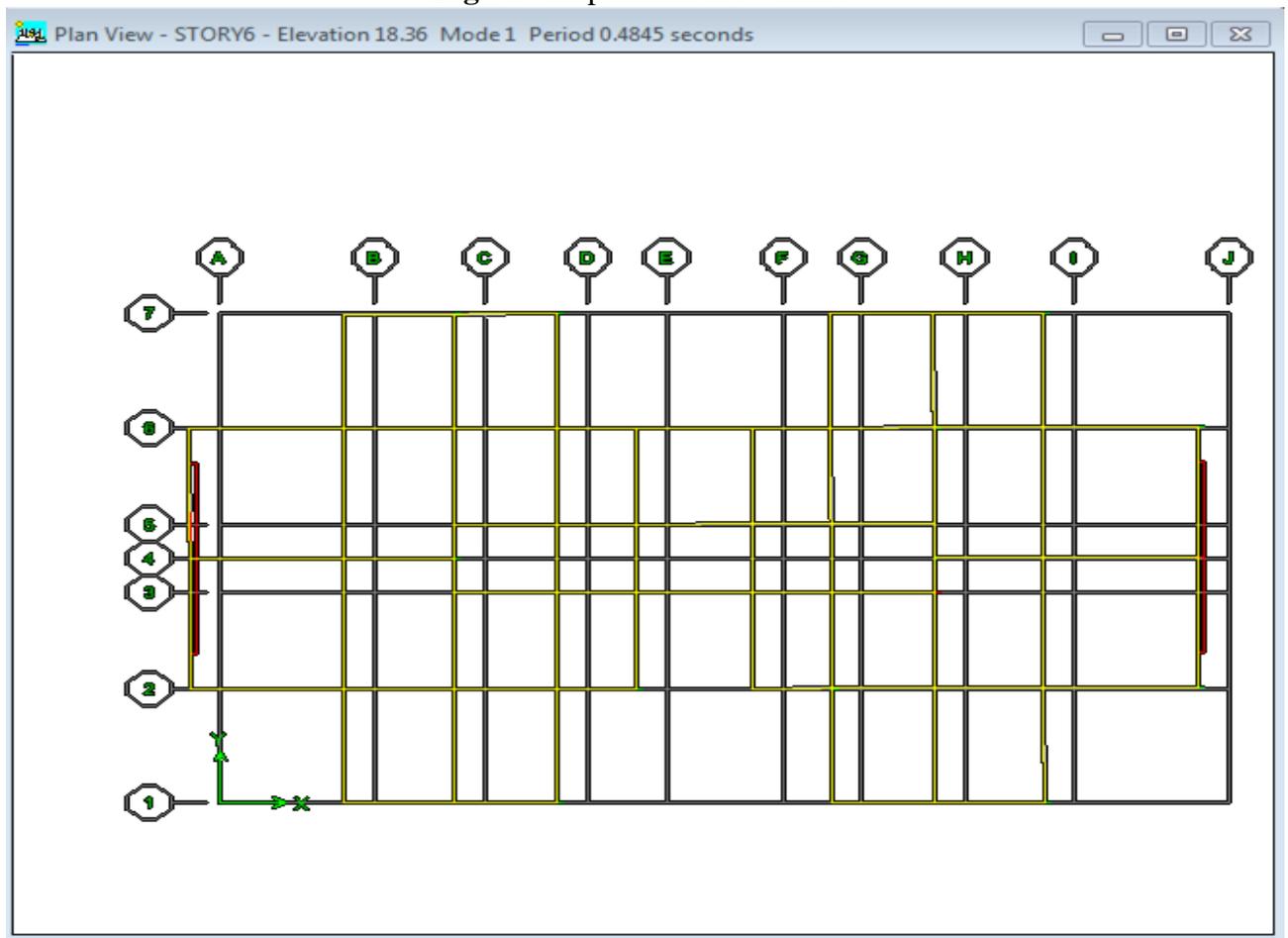
$N=6 \Rightarrow K \geq 3$ .  $(6)^{1/2} \Rightarrow K \geq 7,348$ , Donc on prend 8 modes.

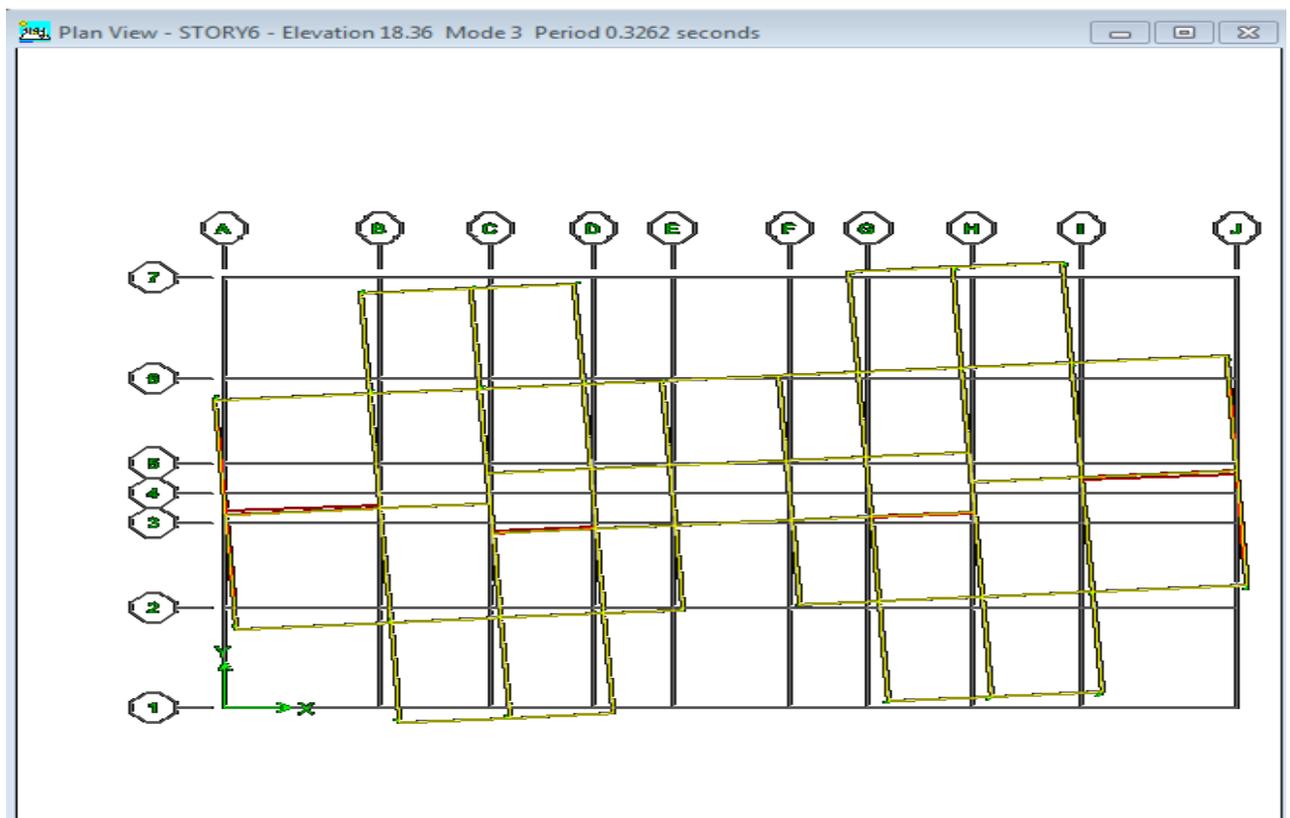
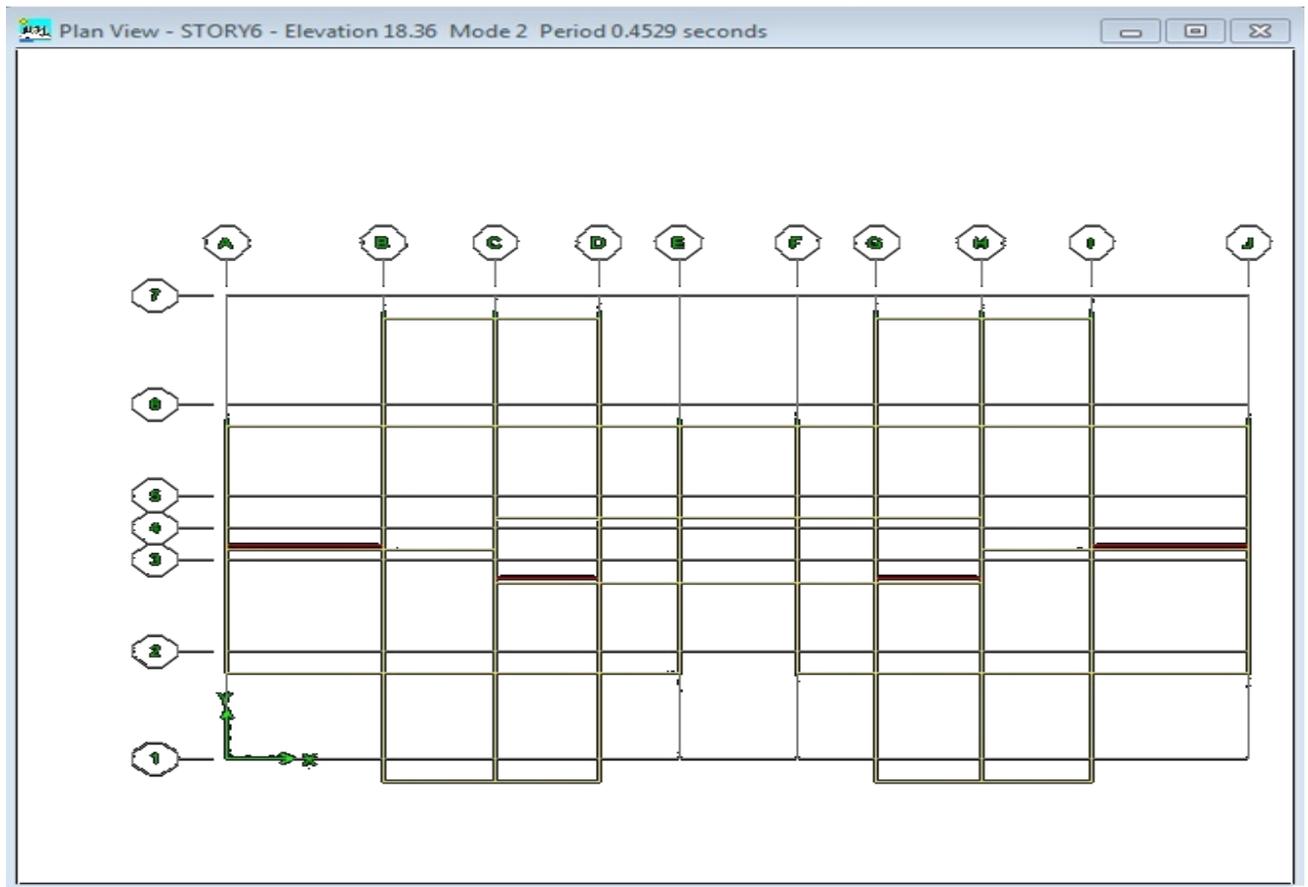
**V.11 Présentation des résultats de la méthode dynamique spectrale et commentaires :****V.11.1 Choix de disposition des voiles :**

On a pris en considération le plan d'architecture et le nombre maximal des voiles dans chaque direction pour choisir une disposition initiale des voiles dans le bâtiment.

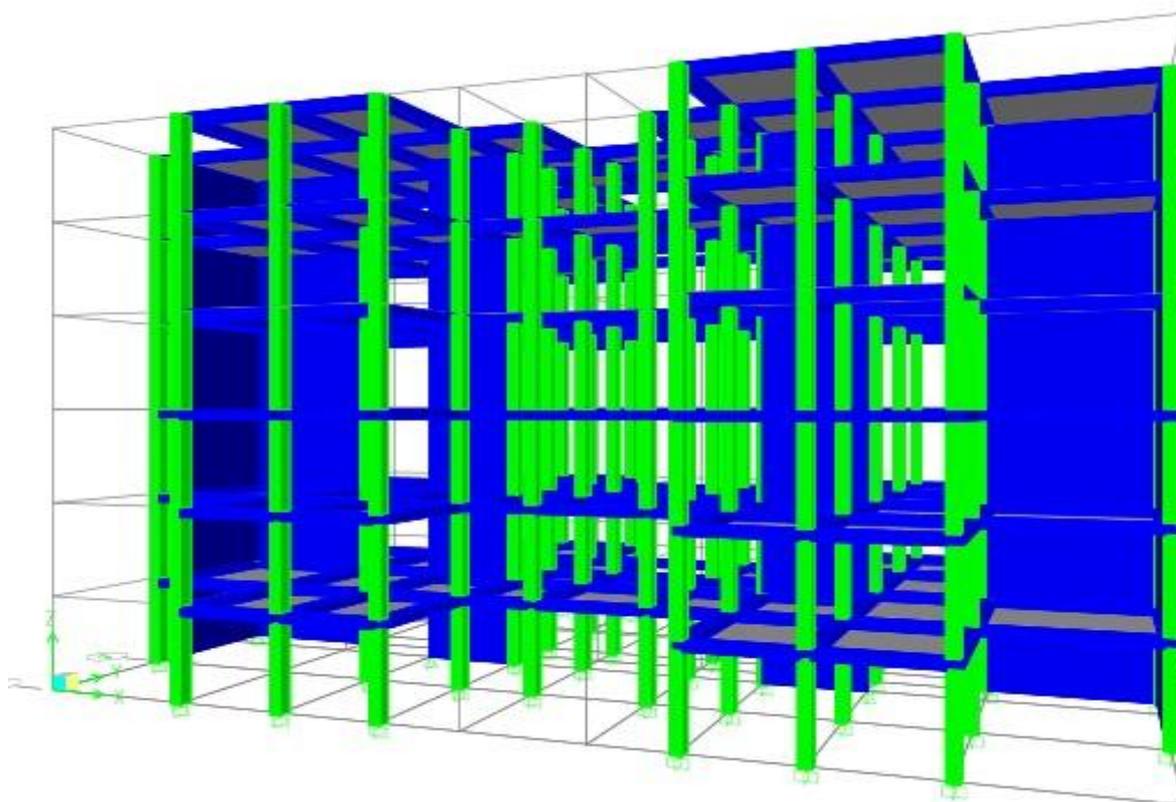


FigV.5- disposition des voiles.





-FigV. 6-Les modes de déformation sur X-Y-Z.



**-FigV.7-**Vue de la structure en 3D.

Mode	Période	Facteurs de Participation Massique(en%)					
		$U_x$	$U_y$	$ZU$	$\sum U_x$	$\sum U_y$	$\sum U_z$
1	0,4845	71,327	0	0	71,327	0	0
2	0,4529	0	71,7621	0	71,327	71,7621	0
3	0,3262	0,0271	0	0	71,3542	71,7621	0
4	0,1151	19,8883	0	0	91,2425	71,7621	0
5	0,1100	0	19,839	0	91,2425	91,6011	0
6	0,0774	0,0064	0	0	91,2489	91,6011	0
7	0,0542	5,5505	0	0	96,7994	91,6011	0
8	0,0529	0	5,572	0	96,7994	97,1731	0

**-TableauV.5-** Période et facture de participation Massique du modèle.

**V.11.2 Vérifications d'analyse dynamique pour Bâtiment R+5 :****V.11.2.1 Vérifications des coefficients de participation modale :**

On doit vérifier que :  $\sum \bar{\alpha}_i \geq 90\%$  Avec :  $\bar{\alpha}_i = \frac{\left( \sum_{K=1}^n W_K \Phi_{Ki} \right)^2}{\sum_{K=1}^n W_K \Phi_{Ki}^2} \times \frac{1}{\sum_{K=1}^n W_K}$

a. Sens longitudinal:

$\Sigma\alpha_x = 96,79\% > 90\%$  .....condition vérifiée.

b. Sens transversal:

$\Sigma\alpha_y = 97,17\% > 90\%$  ..... condition vérifiée.

**V.12 L'effort sismique dynamique à la base:**

La résultante des forces à la base **F** obtenue par combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80 % de la résultante des forces sismiques **V** déterminées par la méthode statique équivalents. (RPA99.article 4-3-6) Les forces sont données en (KN) et les moments en (KN.m)

**V.12.1 L'effort tranchant à la base :**

D'après le RPA99/version2003,Art4.3.6: 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 des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente **V** pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule empirique appropriée.

Spectre	F <sub>x</sub> (KN)	F <sub>y</sub> (KN)	V (KN)	80%V	0,8V<F
E <sub>x</sub>	2577,40	0	2985,33	2388,26	vérifié
E <sub>y</sub>	0	2595,26	2985,33	3388,26	vérifié

**Tableau V.6-** vérification des efforts tranchants à la base.

**V.12.2. Effort tranchant à chaque niveau :**

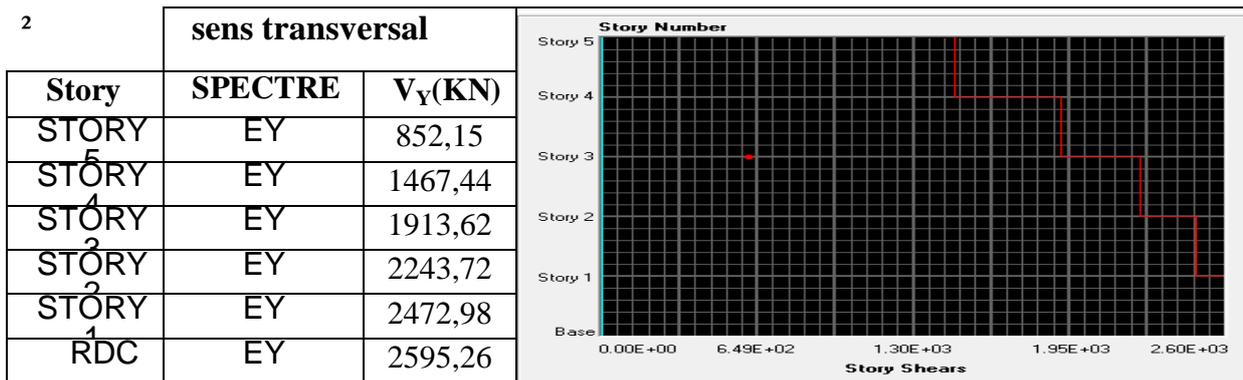
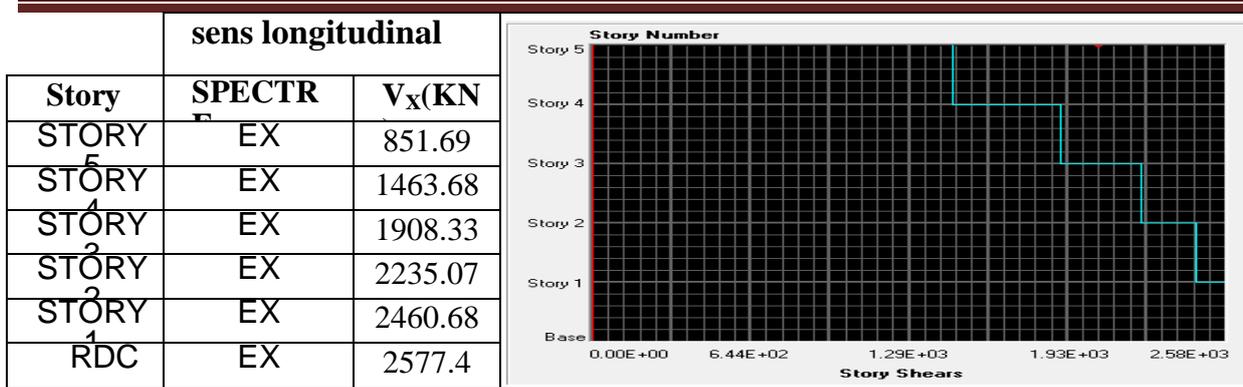


Tableau V.8 - : Effort tranchant à chaque niveau.

**V.13 Justification de la sécurité vis à vis des déformations et de l'effet P-Δ:**

Les déplacements horizontaux maximums sont dus aux effets des efforts horizontaux aux niveaux des planchers.

**V.13.1 Vérification des déplacements :**

D'après le RPA 99/ V 2003 le déplacement horizontal a chaque niveau "K" de la structure est calculé comme suit :  $\delta_k = \delta_{ek} \times R$

Avec  $\delta_{ek}$  : Déplacement du aux forces sismiques  $F_i$ .

R : Coefficient de comportement (R= 4).

Le déplacement relatif au niveau "K" par rapport au niveau "K-1" est égal à :

$$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1}$$

Les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacent, ne doivent pas dépasser 1% de la hauteur de l'étage.

TOUS LES ETAGES:  $1\% \times H = 0,01 \times 3,06 = 0,0306m$

Niveau	H	Sens (x-x)			Sens (y-y)			$\bar{\delta}$ (m)	$\bar{\delta} < \Delta_k$
		$\delta_{ek}$	$\delta_k$	$\Delta_k$	$\delta_{ek}$	$\delta_k$	$\Delta_k$		
5	3,06	0,0068	0,0272	0,0052	0,006	0,024	0,0048	0,0306	vérifié
4	3,06	0,0055	0,022	0,0056	0,0048	0,0192	0,0048	0,0306	vérifié
3	3,06	0,0041	0,0164	0,0056	0,0036	0,0144	0,0048	0,0306	vérifié
2	3,06	0,0027	0,0108	0,0048	0,0024	0,0096	0,0044	0,0306	vérifié
1	3,06	0,0015	0,006	0,004	0,0013	0,0052	0,0036	0,0306	vérifié
RDC	3,06	0,0005	0,002	0,002	0,0004	0,0016	0,0016	0,0306	vérifié

**Tableau V.8-** Vérification des déplacements inter-étages.

Nous constatons que les déplacements inter étage ne dépassent pas le déplacement admissible, alors la condition de l'art 5.10 du RPA version 2003 est vérifiée.

### V.13.2 Justification vis-à-vis de l'effet $-\Delta$ :

Les effets du 2<sup>o</sup> ordre (ou effet P- $\Delta$ ) peuvent être négligé 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'

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

$\Delta_k$ : déplacement relatif du niveau 'K' par rapport au niveau 'K-1'.

$h_K$ : hauteur d'étage 'K'.

Niveau	P(t)	P <sub>K</sub> (t)	$\Delta_{kx}$ (m)	$\Delta_{ky}$ (m)	V <sub>x</sub> (t)	V <sub>y</sub> (t)	h (m)	$\theta_x$	$\theta_y$
5	478,69	478,69	0,0052	0,0048	85,169	85,215	3,06	0,0096	0,0088
4	548,66	1027,35	0,0056	0,0048	146,368	146,744	3,06	0,0128	0,0110
3	548,66	1576,01	0,0056	0,0048	190,833	191,362	3,06	0,0151	0,0129
2	548,66	2124,67	0,0048	0,0044	223,507	224,372	3,06	0,0149	0,0136
1	548,66	2673,33	0,004	0,0036	246,068	247,298	3,06	0,0142	0,0127
RDC	548,66	3221,99	0,002	0,0016	257,74	259,526	3,06	0,0082	0,0065

**Tableau V.9-** Vérification à l'effet P- $\Delta$ .

**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.