

**V-1-Introduction :**

Le calcul des forces sismiques peut être mené suivant trois méthodes (RPA 99/2003 art 4.1.1) :

- Par la méthode statique équivalente
- Par la méthode d'analyse modale spectrale
- Par la méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes

**V-2-Choix de la méthode de calcul :**

Le choix de la méthode de calcul dépend des conditions d'application de chaque méthode. Notre structure est implantée sur un sol : SABLO-ARGILEUX non agressif. Et classée dans la zone sismique I groupe d'usage 1A.

**V-2-1-Méthodes utilisables :****V-2-1-1-Méthode statique équivalente :**

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

**V-2-1-2-Méthode d'analyse modale spectrale :**

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-2-1-3-Combinaison d'action :**

Pour le calcul, on utilise les combinaisons d'actions aux états limites suivantes :

Ultime, service, accidentel.

- ELU :  $1,35G+1,5Q$
- ELS :  $G+Q$
- ELA :  $G+Q+1,2 E$
- ELA :  $G+Q+E$
- ELA :  $0,8G\pm E$

**V-3-Conditions d'application de la méthode statique équivalente :**

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

➤ **A-Régularité géométrique en plan**❖ **Art 3-5-1-a2 (RPA99/2003) :**

Dans notre cas la structure est un modèle de portique auto stable en béton armée (RPA 99/2003 art 3.4.a.1b).

Alors on doit avoir :

$$e_x \leq 0.15L_x$$

$$\text{et : } e_y \leq 0.15L_y$$

Avec :

$\left\{ \begin{array}{l} e_x: \text{l'exentricité suivant x.} \\ e_y: \text{l'exentricité suivant y.} \end{array} \right.$

Et  $\left\{ \begin{array}{l} L_x: \text{La longueur de la structure.} \\ L_y: \text{La largeur de la structure.} \end{array} \right.$

**Tableau V-1** : les vérifications suivant l'article 3.5.1.a2 (RPA99/2003)

Blocs	X <sub>CM</sub> (m)	Y <sub>CM</sub> (m)	X <sub>CR</sub> (m)	Y <sub>CR</sub> (m)	e <sub>x</sub> (m)	e <sub>y</sub> (m)	0.15L <sub>x</sub> (m)	0.15L <sub>y</sub> (m)	e <sub>x</sub> ≤ 0.15L <sub>x</sub>	e <sub>y</sub> ≤ 0.15L <sub>y</sub>
A1	10.87	4.50	11.84	3.81	0.97	0.68	3.18	1.32	Condition vérifier	Condition vérifier
A2	5.72	7.55	4.75	5.54	0.97	2.02	1.79	2.36	Condition Vérifier	Condition Vérifier
B1	5.88	13.38	5.98	12.48	0.10	-0.89	1.73	4.04	Condition vérifier	Condition vérifier
B2	10.12	10.10	10.40	10.17	0.28	0.07	2.49	3.25	Condition Vérifier	Condition vérifier

❖ **Art 3-5-1-a3 (RPA99/2003) :**

D'après notre configuration en plan de notre structure on doit avoir :

$$\begin{cases} l_x/L_x \leq 0.25 \\ l_y/L_y \leq 0.25 \\ L_x/L_y \leq 4.00 \end{cases}$$

**Tableau V-2** : Les vérifications suivant l'article 3-5-1-a3 (RPA99/2003)

Blocs	Partie saillante			Partie rentrante			L <sub>x</sub> (m)	L <sub>y</sub> (m)	L <sub>x</sub> / L <sub>y</sub> ≤ 4.00
	l <sub>x</sub> (m)	L <sub>x</sub> (m)	l <sub>x</sub> / L <sub>x</sub> ≤ 0.25	l <sub>y</sub> (m)	L <sub>y</sub> (m)	l <sub>y</sub> / L <sub>y</sub> ≤ 0.25			
A1	-	-	-	-	-	-	21.15	8.80	Condition Vérifier
A2	-	-	-	-	-	-	12.00	15.70	Condition Vérifier
B1	-	-	-	-	-	-	11.50	26.90	Condition Vérifier
B2	5.10	16.60	Condition Non Vérifier	5.30	21.65	Condition Vérifier	16.60	21.65	Condition vérifier

❖ **Art 3-5-1-a4 (RPA99/2003)**

On doit avoir :

$$\frac{S_{\text{ouverture}}}{S_{\text{plancher}}} \leq 0.15$$

Avec : S<sub>ouverture</sub> : La surface des ouvertures au plancher.

S<sub>plancher</sub> : La surface du plancher.

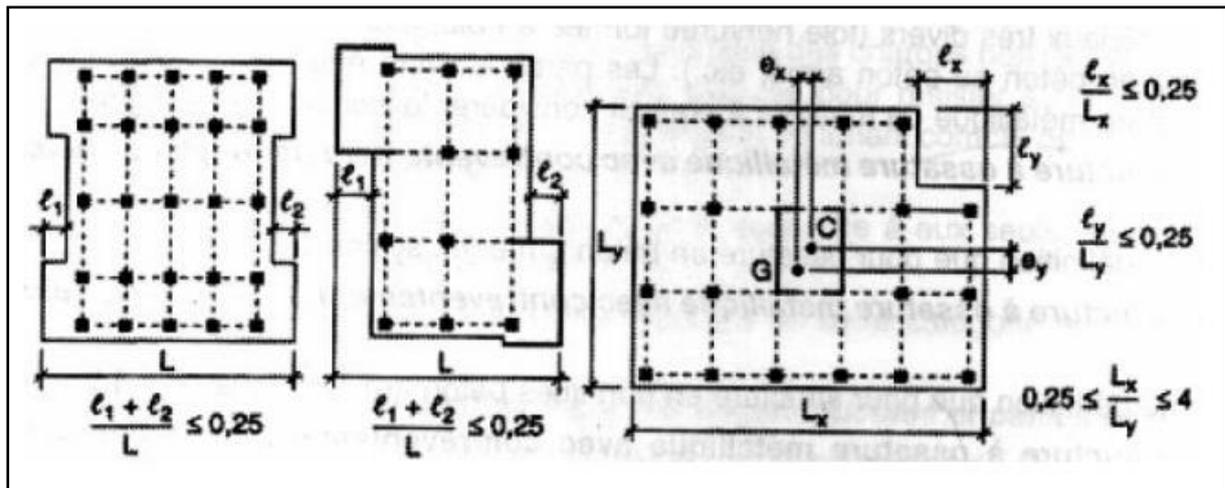


Figure V-1 : Limites des décrochements en plan

Tableau V-3 : Les vérifications suivant l'article 3-5-1-a4 (RPA99/2003)

Blocs	Souverture (m <sup>2</sup> )	S <sub>plancher</sub> (m <sup>2</sup> )	$S_{\text{ouverture}} / S_{\text{plancher}} \leq 0.15$
A1	0	186.12	Condition vérifier
A2	25	186.83	Condition vérifier
B1	0	309.35	Condition vérifier

➤ **B-Régularité géométrique en élévation :**

D'après le RPA99/2003, les articles 3-5-1-b1, 3-5-1-b2 et 3-5-1-b3 reporte d'une manière générale que le rapport de la limite des décrochements en élévation (Fig. 3-2) est :  $B'/B \geq 0.67$

Avec : B : La longueur suivant (x) du premier plancher.

B' : La longueur suivant (x) du dernier plancher.

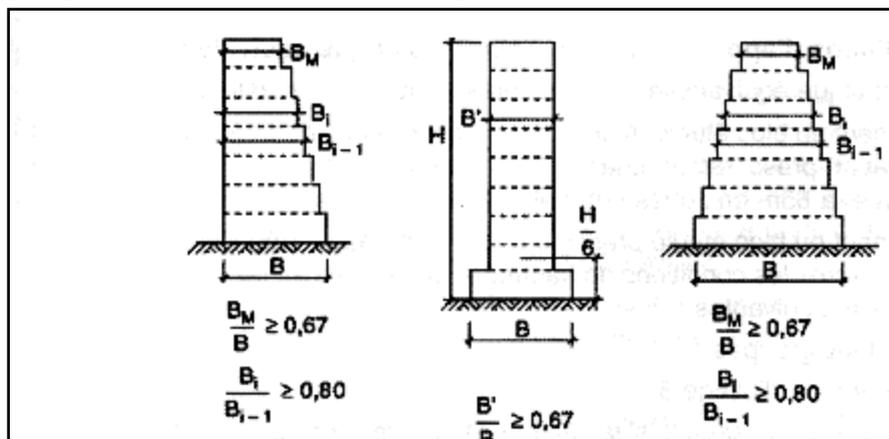


Figure V-2 : Limite des décrochements en élévation

Tableau V-4 : Les vérifications suivant l'article 3-5-1-b (RPA99/2003)

Blocs	B (m)	B' (m)	$B'/B \geq 0.67$
A1	21.15	21.15	Condition vérifier
A2	12.00	12.00	Condition vérifier
B1	16.60	16.60	Condition vérifier

➤ **Conclusion :**

D'après le RPA99/2003 (art 3-5-2), Le 1<sup>er</sup> critère de l'art 3-5-1-a3 (RPA99/2003) n'est pas vérifié au bloc B2, alors ce bâtiment est classé en irrégulier en plan. Donc la méthode statique équivalente n'est pas vérifiée.

Alors : D'après le RPA 99/2003 :

-La méthode statique équivalente est appliquée pour les blocs A1, A2 et B1(Art 4.1.2).

-La méthode d'analyse modale spectrale est appliquée pour le bloc B2. (Art 4-1-3-a).

-Donc pour notre cas on a choisi la méthode d'analyse modale spectrale pour les quatre blocs.

**V-4- Méthode d'analyse modale spectrale :**

**V-4-1-Spectre de réponse :**

Selon le RPA 99 / version 2003 (art 4.3.3) l'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant :

$$\frac{S_a}{g} = \left\{ \begin{array}{ll} 1.25 \times A \times \left[ 1 + \left( \frac{T}{T_1} \right) \times \left( 2.5 \times \eta \times \left( \frac{Q}{R} \right) - 1 \right) \right] & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5 \times \eta \times \left[ (1.25 \times A) \times \left( \frac{Q}{R} \right) \right] & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5 \times \eta \times (1.25 \times A \times \left( \frac{Q}{R} \right) \times \left( \frac{T_2}{T} \right)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0 \text{ s} \\ 2.5 \times \eta \times (1.25 \times \eta) \times \left( \frac{T_2}{3} \right)^{\frac{2}{3}} \times \left( \frac{3}{T} \right)^{\frac{5}{3}} \times \left( \frac{Q}{R} \right) & T \geq 3.0 \text{ s} \end{array} \right.$$

Avec :

A : Coefficient d'accélération de la zone.

D : facteur d'amplification dynamique moyen.

R : Coefficient de comportement global de la structure dépend du mode de contreventement.

W : Poids de la structure.

Q : facteur de qualité.

**V-4-2- Calcul de la force sismique totale :**

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

$$V = \frac{A \times D \times Q}{R} \times W \quad \text{RPA99 / 2003(Art4.2.3)}$$

❖ **A : coef d'accélération de zone** RPA99/2003(Tab 4.6)

Dans notre cas :

**Tableau V-5 :** Coefficient d'accélération de zone.

Blocs	Coefficient A
A1	0.12
A2	0.12
B1	0.12
B2	0.12

❖ **D : facteur d'amplification dynamique moyen** on fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement( $\eta$ ) et de la période fondamentale de la structure (T) .

$$D = \left\{ \begin{array}{ll} 2,5 \eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2,5 \eta \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3s \quad \text{RPA99/2003(relation4.2)} \\ 2,5 \eta \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \left( \frac{3}{T} \right)^{5/3} & T \geq 3s \end{array} \right.$$

Avec :

- $T_2$  : Période caractéristique associée à la catégorie du site

**Tableau V-6** : La période  $T_2$ (s) RPA99/2003 (Tab 4.7)

Blocs	Période $T_2$ (s)
A1	0.5
A2	0.5
B1	0.5
B2	0.5

- $\eta$  : Facteur de correction d'amortissement donnée par la formule :

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2 + \xi)}} \geq 0.7 \quad \text{RPA99/2003 (relation 4.3)}$$

Où :  $\xi$  ( % ) est le pourcentage d'amortissement critique on fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages. Donnée par le RPA99/2003 (Tab 4.2). Pour notre cas on a portique en Béton Armé avec remplissage dense.

Donc :

**Tableau V-7** : Facteur de correction d'amortissement

Blocs	$\xi_r$ (%)	$\eta$	Vérification
A1	7	0.8819	Condition vérifier
A2	7	0.8819	Condition vérifier
B1	7	0.8819	Condition vérifier
B2	7	0.8819	Condition vérifier

- $T$  : Période fondamentale :

Dans notre cas (structure auto stable en béton armée), La période fondamentale correspond à la plus Petite valeur obtenue par les formules 4-6 et 4-7 du RPA99V2003 :

$$T = \min \left\{ C_T \times h_N^{\frac{3}{4}} ; \frac{0.09 \times h_N}{\sqrt{D}} \right\}$$

Avec :

- $h_N$  : Hauteur mesurée en mètre à partir de la base de la structure jusqu'an dernier niveau (n).

**Tableau V-8** : Hauteur des étages.

Blocs	$h_N$ (m)
A1	17
A2	17
B1	6.8
B2	6.8

- $C_T$  : coef fonction de système de contrant, du type de remplage et donné par le tableau 4.6 du RPA99

On a : portique auto stable en B.A avec remplissage en maçonnerie

**Tableau V-9** : Coefficient de système de contreventement

Blocs	Coefficient $C_T$
A1	0.05
A2	0.05
B1	0.075
B2	0.075

• **Bloc A1:**

$$\begin{cases} T = 0.05 \times (17)^{\frac{3}{4}} = 0.42 \text{ s} \\ T_x = \frac{0.09 \times h_N}{\sqrt{L_x}} = \frac{0.09 \times 17}{\sqrt{26.5}} = 0.297 \text{ s} \rightarrow T = 0.297 \text{ s} \\ T_y = \frac{0.09 \times h_N}{\sqrt{L_y}} = \frac{0.09 \times 17}{\sqrt{9}} = 0.51 \text{ s} \end{cases}$$

**Tableau V-10** : Période empirique.

Blocs	T(s)	L <sub>x</sub> (m)	T <sub>x</sub> (s)	L <sub>y</sub> (m)	T <sub>y</sub> (s)	T <sub>choisi</sub> (s)
A2	0.42	12.00	0.44	15.70	0.39	0.39
B1	0.315	11.5	0.18	26.90	0.12	0.315
B2	0.315	11.5	0.15	21.65	0.13	0.315

On a :  $0 \leq T \leq T_2 = 0.5 \text{ s} \rightarrow D = 2.5 \times \eta \rightarrow D = 2.205$

Alors:

**Tableau V-11** : Facteur d'amplification dynamique moyen.

Blocs	Facteur D
A2	2.205
B1	2.205
B2	2.205

• **R : coef de comportement global de la structure :**

La valeur de R est donnée par le tableau 4.3 de RPA 99 / version 2003 en fonction du système de contreventement tel qu'il est défini dans l'article 3.4 du RPA 99 / version 2003 notre structure est classée dans la catégorie (A1a).

**Tableau V-12** : Coefficient de comportement global.

Blocs	Coefficient R
A1	5
A2	5
B1	5
B2	5

• **Q : Facteur de qualité :**

La valeur de Q est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_1^5 P_q \quad \text{RPA99 / 2003 (relation 4.4)}$$

Avec :

P<sub>q</sub>: Est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité (q) est satisfait ou non. RPA99/2003 (Tab 4.4)

**Tableau V-13** : Pénalité correspondante au critère

Critère q	P <sub>c</sub>	
	sens longitudinal	sens transversal
Condition minimales sur les files de contreventement	0	0
redondance en plan	0	0
régularité en plan	0,05	0,05
régularité en élévation	0,05	0,05
contrôle de la qualité des matériaux	0,05	0,05
contrôle de la qualité de l'exécution	0,1	0,1
Σ q	0,25	

Alors :  $Q = 1.25$

- **Poids total de la structure (W) :**

W est égal à la somme des poids  $W_i$ , calculés à chaque niveau (i) :

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{avec: } W_i = W_G + (\beta \times W_Q) \quad \text{RPA99/2003 relatio(4.5)}$$

$W_G$ : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure.

$W_Q$ : charges 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.

Le poids total de la structure a été déterminé par les deux logiciels de calcul Autodesk Robot structural professionnel 2011 pour les deux blocs A1 et A2 ; Et ETABS v9.6.0 pour les deux blocs B1 et B2 :

**Tableau V-14 : Poids totale pour les quatre blocs.**

Blocs	Poids totale
A1	1323.1(tons)
A2	1172.2 (tons)
B1	815.11 (tons)
B2	865.54 (tons)

- **Résumé des résultats :**

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

**Tableau V-15 : V statique totale**

Blocs	$V_{\text{statique}}$
A1	87.52 tons
A2	77.54 tons
B1	53.92 tons
B2	57.25 tons

**V-5-Justification de la sécurité :**

- ❖ **V-5-1-Justification de la sécurité avant disposition des voiles :**

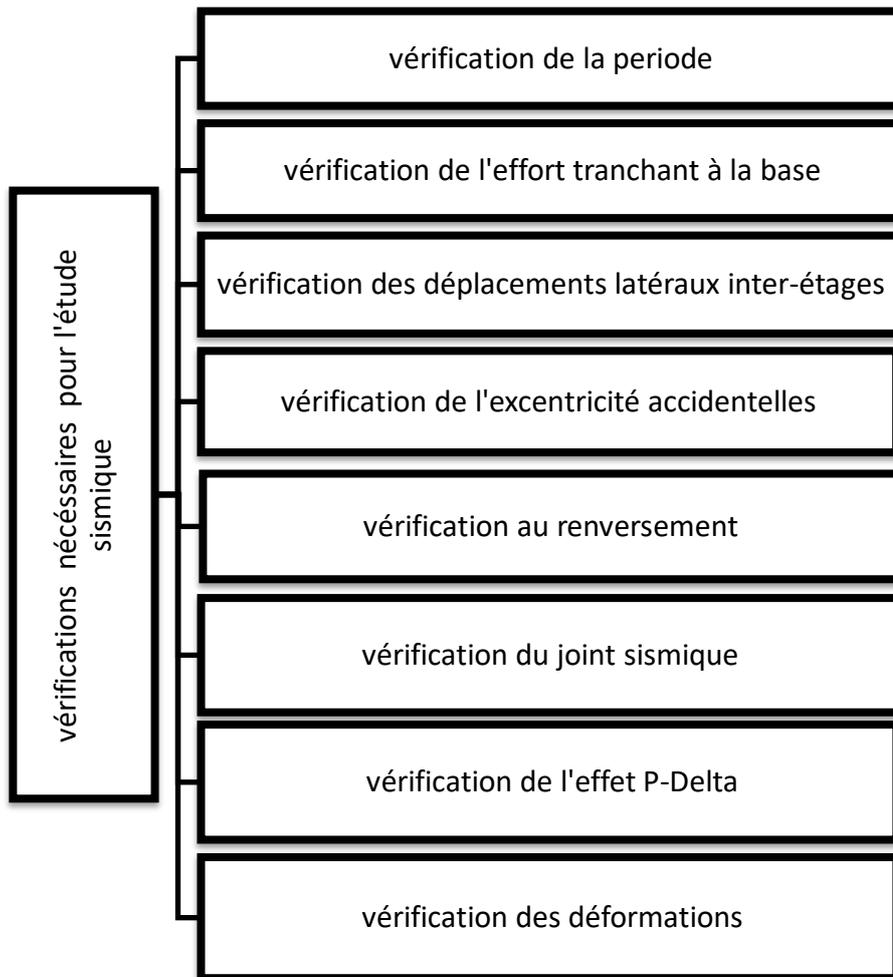


Figure V-3 : Les vérifications nécessaires pour l'étude sismique.

Voici deux exemple du deux bloc A1 et B1 des déférents déformation correspondant à chaque mode :

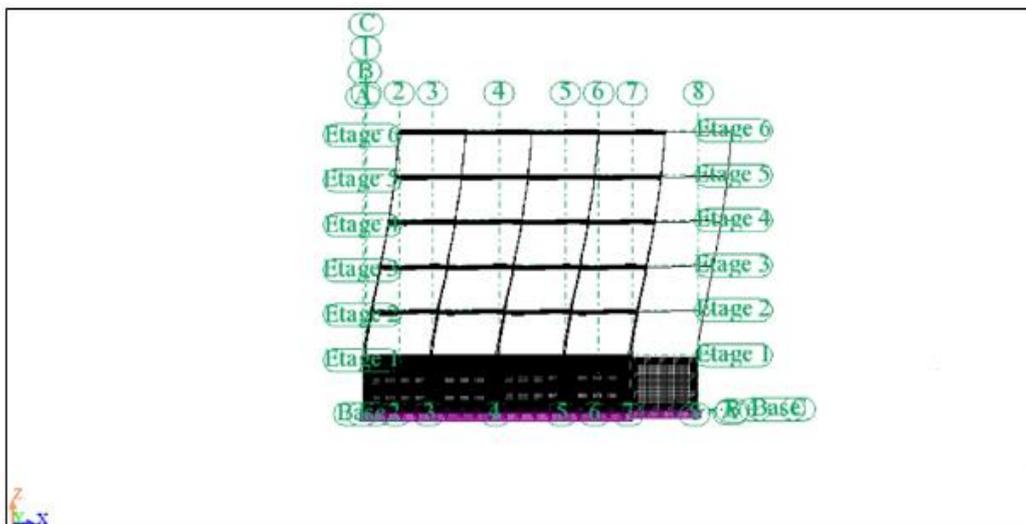


Figure V-4 : La déformation du bloc A1 au mode 1 (sans voile) « ROBOT 2011 ».

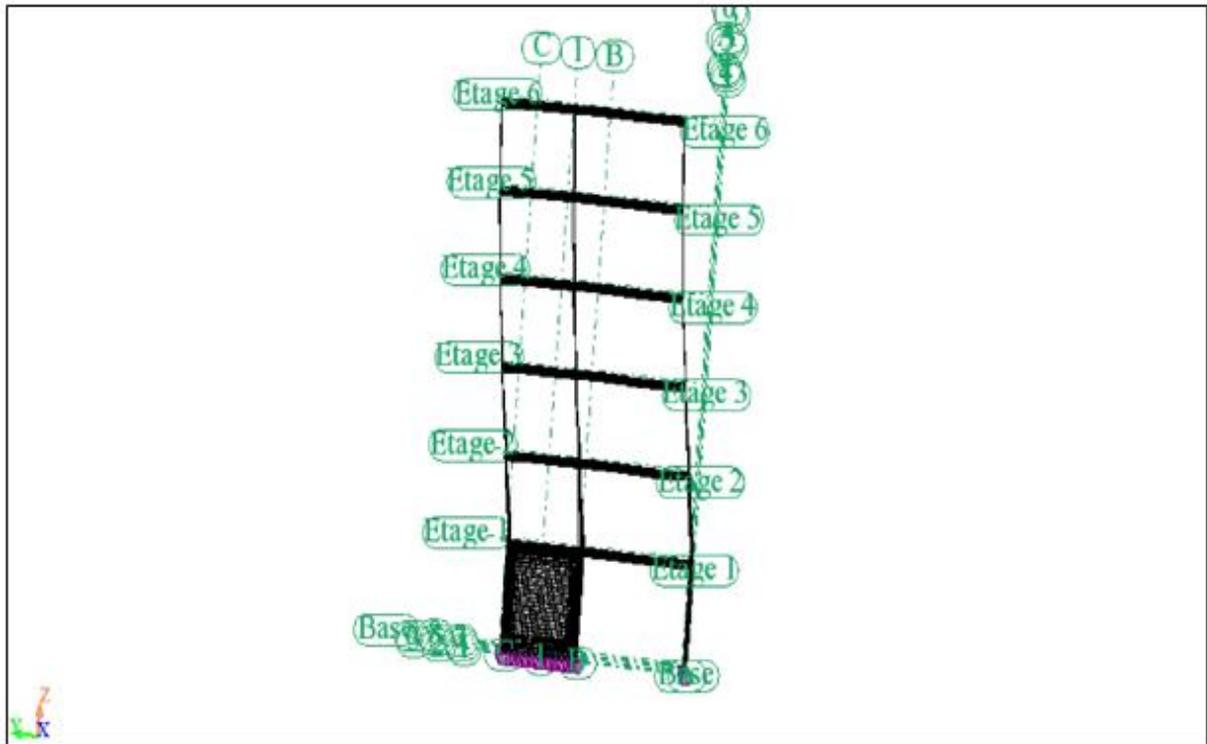


Figure V-5 : La déformation du bloc A1 au mode 2 (sans voile) « ROBOT 2011 »..

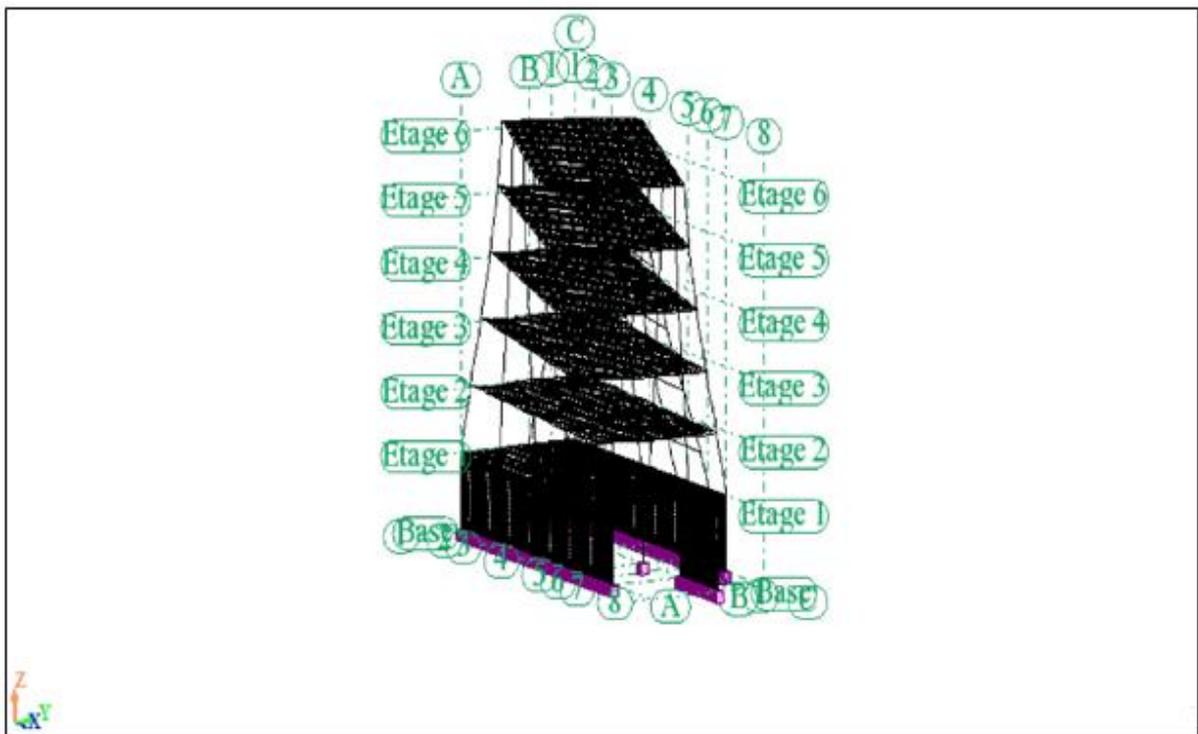
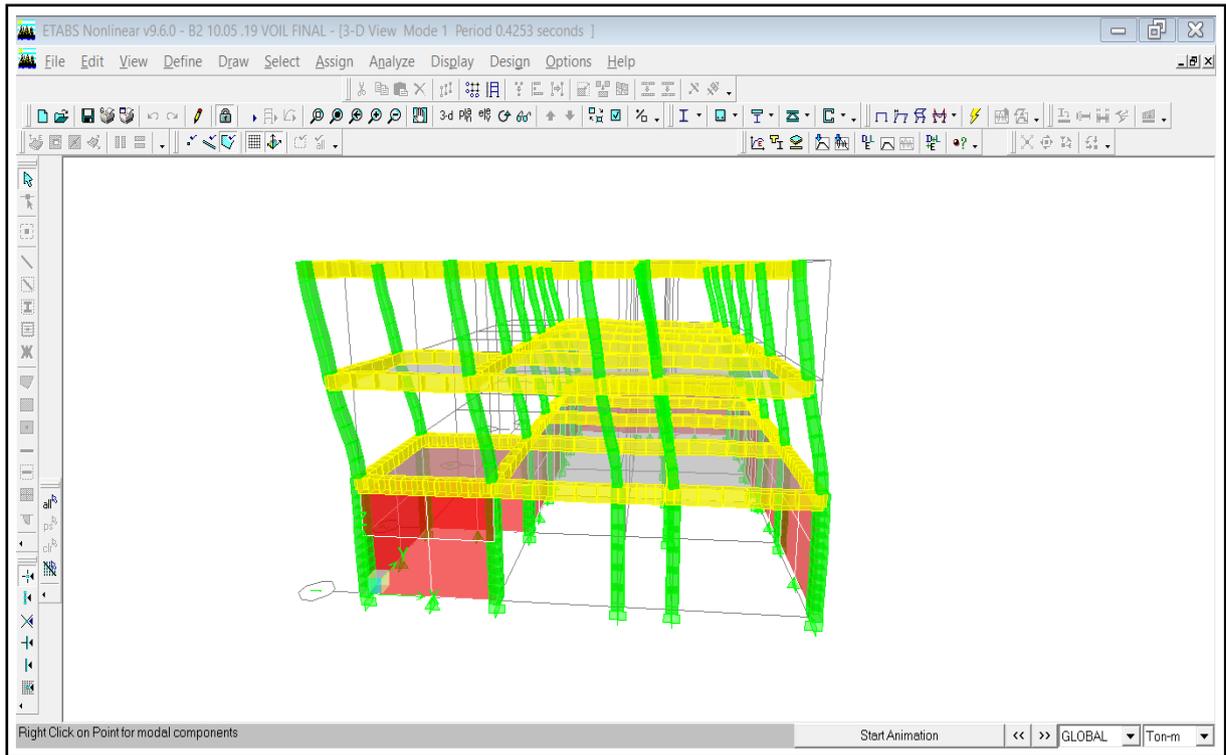
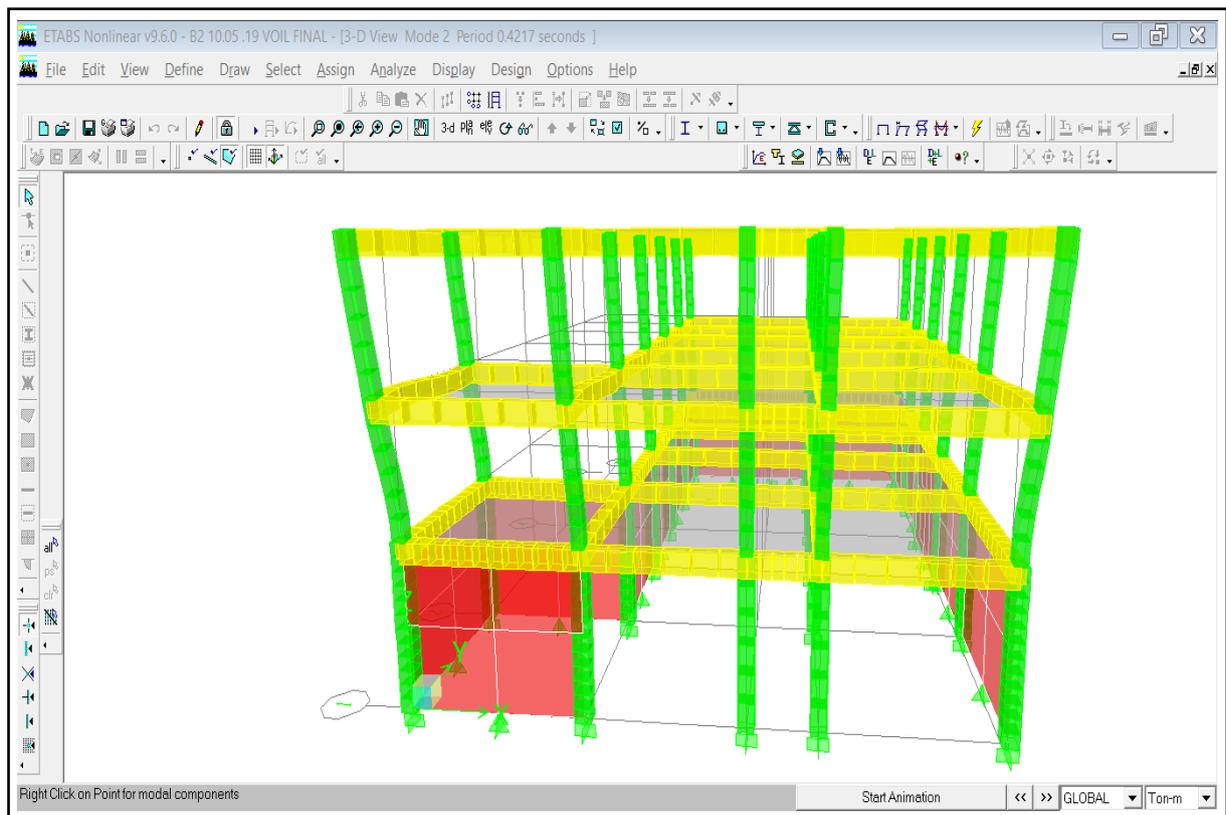


Figure V-6 : La déformation du bloc A1 au mode 3 (sans voile) « ROBOT 2011 ».



**Figure V-7 :** La déformation du bloc B1 au mode 1 (ETABS 2009).



**Figure V-8 :** La déformation du bloc B1 au mode 2 (ETABS 2009).

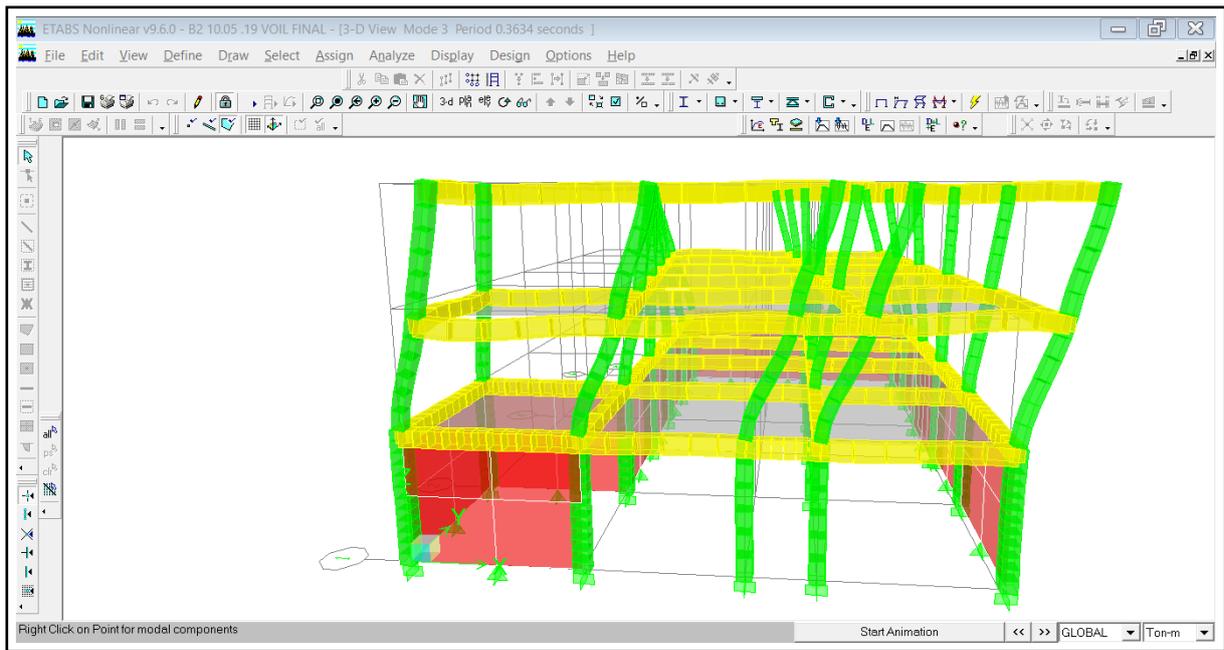


Figure V-9 : La déformation du bloc B1 au mode 3 (ETABS 2009).

**V-5-1-1-Vérification des coefficients de participation modale :**

On doit vérifier que la somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à 90 % au moins de la masse totale de la structure.

$$\sum \bar{\alpha}_i \geq 90\% \quad \text{RPA99/2003 (Art4.3.4)}$$

Avec :  $\bar{\alpha}_i$ : La masse modale effective pour le mode retenu.

On a utilisé deux logiciels de calcul : Autodesk Robot structural professionnel 2011 pour les deux blocs A1 et A2 ; Et ETABS v9.6.0 pour les deux blocs B1 et B2 :

**Bloc A1 :**

- **Sens longitudinal :**

$$\sum \bar{\alpha}_i = 70.91 \% < 90 \% \dots\dots\dots \text{condition non vérifiée.}$$

- **Sens transversal :**

$$\sum \bar{\alpha}_i = 73.63 \% < 90\% \dots\dots\dots \text{condition non vérifiée.}$$

**Tableau V-16 :** Périodes et facteurs de participation modale (résultats ROBOT2011)

Cas/Mode	Période [sec]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]
1	0.58	70.91	0.00
2	0.52	0.00	73.63
3	0.41	0.20	0.08
4	0.18	8.58	0.00
5	0.17	0.00	9.04
6	0.13	0.02	0.01
7	0.10	3.17	0.00

**Bloc A2 :**

- **Sens longitudinal :**

$\sum \bar{\alpha}_i = 70.51\% < 90\%$  .....condition non vérifiée.

- **Sens transversal :**

$\sum \bar{\alpha}_i = 69.92\% < 90\%$  ..... condition non vérifiée.

**Tableau V-17 :** Périodes et facteurs de participation modale (résultats ROBOT2011)

Cas/Mode	Période [sec]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]
1	0.58	0.14	69.92
2	0.52	70.51	0.14
3	0.41	0.16	0
4	0.18	0	0.03
5	0.17	0	0.13
6	0.13	0	0
7	0.10	0	0.18

**Bloc B1 :**

- **Sens longitudinal :**

$\sum \bar{\alpha}_i = 98.3725\% > 90\%$  .....condition vérifiée.

- **Sens transversal :**

$\sum \bar{\alpha}_i = 97.6159\% > 90\%$  ..... condition vérifiée.

**Tableau V-18 :** Périodes et facteurs de participation modale (résultats ETABS v9.6.0)

Cas/Mode	Période [sec]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]
1	0.40248	44.458	4.2999
2	0.391471	49.5004	51.6162
3	0.321312	53.1731	52.3318
4	0.143948	57.0972	52.3918
5	0.137739	57.1738	56.4749
6	0.113773	57.7297	56.4837
7	0.035331	98.3725	56.4908
8	0.019744	98.5149	97.6159
9	0.019355	100	100

**Bloc B2 :**

- **Sens longitudinal :**

$\sum \bar{\alpha}_i = 98.2436\% > 90\%$  .....condition vérifiée.

- **Sens transversal :**

$\sum \bar{\alpha}_i = 94.4241\% > 90\%$  ..... condition vérifiée.

**Tableau V-19** : Périodes et facteurs de participation modale (résultats ETABS v9.6.0)

Mode	Période [sec]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]
1	0.42395	54.9206	0.0691
2	0.420463	55.0185	57.3281
3	0.362298	58.226	57.3739
4	0.140248	62.6757	57.458
5	0.139941	62.7601	62.0276
6	0.123149	62.915	62.03
7	0.032564	98.2436	62.1223
8	0.021352	98.8407	94.4241
9	0.018917	99.9987	100

**V-5-1-2-Vérification de la résultante des forces sismiques de calcul :**

D'après le RPA99/2003 (Art 4.3.6), On doit vérifier que :

$$V_{\text{dynamique}} \geq 80\%V_{\text{statique}}$$

Avec :

$V_{\text{dynamique}}$ : La résultante des forces sismiques à la base obtenue par combinaison des valeurs modales

$V_{\text{statique}}$ : La résultante des forces sismiques déterminées par la méthode statique équivalente.

**Bloc A1 :**

- **Sens longitudinal** :  $\begin{cases} V_{dx} = 226.12 \text{ t} \\ 80\%V_{st} = 70.02 \text{ t} \end{cases}$  → condition vérifier
- **Sens transversal** :  $\begin{cases} V_{dy} = 252.63 \text{ t} \\ 80\%V_{st} = 70.02 \text{ t} \end{cases}$  → condition vérifier

**Bloc A2 :**

- **Sens longitudinal** :  $\begin{cases} V_{dx} = 21.42 \text{ t} \\ 80\%V_{st} = 15.52 \text{ t} \end{cases}$  → condition vérifier
- **Sens transversal** :  $\begin{cases} V_{dy} = 21.49 \text{ t} \\ 80\%V_{st} = 15.52 \text{ t} \end{cases}$  → condition vérifier

**Bloc B1 :**

- **Sens longitudinal** :  $\begin{cases} V_{dx} = 64.70 \text{ t} \\ 80\%V_{st} = 43.14 \text{ t} \end{cases}$  → condition vérifier
- **Sens transversal** :  $\begin{cases} V_{dy} = 70.50 \text{ t} \\ 80\%V_{st} = 43.14 \text{ t} \end{cases}$  → condition vérifier

**Bloc B2 :**

- **Sens longitudinal** :  $\begin{cases} V_{dx} = 72.21 \text{ t} \\ 80\%V_{st} = 45.8 \text{ t} \end{cases}$  → condition vérifier
- **Sens transversal** :  $\begin{cases} V_{dy} = 75.63 \text{ t} \\ 80\%V_{st} = 45.8 \text{ t} \end{cases}$  → condition vérifier

**V-5-1-3-Vérification de la période :**

D'après le RPA 99/2003 (Art 4.2.4.4), Les valeurs de (T) calculées à partir des formules de Rayleigh ou de méthodes numériques ne doivent pas dépasser celles estimées à partir des formules empiriques appropriées de plus de 30%.

$$T_{\text{numérique}} < 30\%T_{\text{empirique}}$$

**Bloc A1 :**

$$\begin{cases} T_{\text{numérique}} = 0.58 \text{ s} \\ 30\%T_{\text{empirique}} = 0.39 \text{ s} \end{cases} \rightarrow \text{condition non vérifier.}$$

**Bloc A2:**

$$\begin{cases} T_{\text{numérique}} = 0.46 \text{ s} \\ 30\%T_{\text{empirique}} = 0.51 \text{ s} \end{cases} \rightarrow \text{condition vérifier.}$$

**Bloc B1 :**

$$\begin{cases} T_{\text{numérique}} = 0.40248 \text{ s} \\ 30\%T_{\text{empirique}} = 0.41 \text{ s} \end{cases} \rightarrow \text{condition vérifier.}$$

**Bloc B2:**

$$\begin{cases} T_{\text{numérique}} = 0,42 \text{ s} \\ 30\%T_{\text{empirique}} = 0.41 \text{ s} \end{cases} \rightarrow \text{condition vérifier.}$$

**V-5-1-4-Vérification de l'effort normale réduit :**

- **Vérification spécifiques selon le RPA 99 / version 2003 : Sollicitations normale :**

Selon l'RPA 99 / version 2003 (Art 7.4.3.1) :

Dans le but d'éviter ou limiter le risque de rupture fragile sous sollicitations d'emblée dues à séisme, l'effort normal de compression de calcul est limité par la condition suivante :

$$\frac{N_{\text{Acc}}}{B \times f_{c28}} \leq 0.3 \quad \text{RPA 99 / version 2003 (Art 7.4.3.1)}$$

**Tableau V-20** : Vérification spécifique des poteaux du bloc A2 du siège APC (ROBOT2011).

N <sup>bre</sup> d'étage	N <sub>Acc</sub> [kN]	f <sub>c28</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	B[cm <sup>2</sup> ]	$\frac{N_{Acc}}{B \times f_{c28}} \leq 0.3$
4 <sup>ème</sup> étage (35 × 35)	218.69	2.5	1225	Condition vérifier
4 <sup>ème</sup> étage D=70	251.71	2.5	3846.5	Condition vérifier
3 <sup>ème</sup> étage (35 × 35)	407.25	2.5	1225	Condition vérifier
3 <sup>ème</sup> étage D=70	498.77	2.5	3846.5	Condition vérifier
2 <sup>ème</sup> étage (35 × 35)	612.26	2.5	1225	Condition vérifier
2 <sup>ème</sup> étage D=70	751.15	2.5	3846.5	Condition vérifier
1 <sup>ère</sup> étage (35 × 35)	831.94	2.5	1225	Condition vérifier
1 <sup>ère</sup> étage D=70	1004.17	2.5	3846.5	Condition vérifier
RDC (35 × 35)	1071.38	2.5	1225	Condition vérifier
RDC D=70	1253.41	2.5	3846.5	Condition vérifier
Sous-sol (45 × 45)	1312.51	2.5	2025	Condition vérifier
Sous-sol D=70	1484.33	2.5	3846.5	Condition vérifier

**Tableau V-21** : Vérification spécifique des poteaux du bloc B1 du siège APC (ETABS V.9.6.0).

N <sup>bre</sup> d'étage	N <sub>Acc</sub> [kN]	f <sub>c28</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	B[cm <sup>2</sup> ]	$\frac{N_{Acc}}{B \times f_{c28}} \leq 0.3$
1 <sup>ère</sup> étage (35 × 35)	311.8	2.5	1225	Condition vérifier
RDC (35 × 35)	621.5	2.5	1225	Condition vérifier
Sous-sol (45 × 45)	960.6	2.5	2025	Condition vérifier

**Tableau V-22** : Vérification spécifique des poteaux du bloc B2 du siège APC (ETABS V.9.6.0).

N <sup>bre</sup> d'étage	N <sub>Acc</sub> [kN]	f <sub>c28</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	B[cm <sup>2</sup> ]	$\frac{N_{Acc}}{B \times f_{c28}} \leq 0.3$
1 <sup>ère</sup> étage (35 × 35)	379.2	2.5	1225	Condition vérifier
RDC (35 × 35)	761.2	2.5	1225	Condition vérifier
Sous-sol (45 × 45)	1012.7	2.5	2025	Condition vérifier

**V-5-1-5-Vérification des déplacements :**

• **Justification vis-à-vis des déformations :**

Selon l’RPA 99 / version 2003 (Art 5.10) ; Les déplacements relatifs latéraux d’un étage par rapport aux autres qui lui sont adjacents, ne doivent pas dépasser 1% de la hauteur d’étage (h).

• **Le déplacement total de chaque niveau :**

D’après la modélisation de notre siège APC dans les logiciels de calcul des structures Auto desk Robot Structural Analysis Professional 2011 pour les deux bloc A1, A2 ; et ETABS V.9.6.0 pour les deux bloc B1, B2 ; On peut avoir les déplacements dans chaque niveau dans différentes combinaisons.

Concernant les déplacements latéraux inter étages, la formule ci-dessous doit être vérifiée :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_x^k \leq \bar{\Delta} \\ \Delta_y^k \leq \bar{\Delta} \end{array} \right. \quad \text{avec: } \bar{\Delta} = 0.01 \times h_e \quad ; h_e: \text{La hauteur d'étage}$$

$$\begin{array}{l} h_e = 3.40 \text{ m (étage courant)} \\ h_e = 4.08 \text{ m (sous - sol)} \end{array}$$

et:  $\left\{ \begin{array}{l} \Delta_x^k = \delta_x^k - \delta_x^{-k} \\ \Delta_y^k = \delta_y^k - \delta_y^{-k} \end{array} \right.$  RPA99 mod 2003(Art 4.4.3 relation: 4.19)

et:  $\left\{ \begin{array}{l} \delta_x^k = R \times \Delta_{ex}^k \\ \delta_y^k = R \times \Delta_{ey}^k \end{array} \right.$  RPA 99 mod 2003 (Art 4.4.3)

Ou:

$\Delta_{e\ x/y}^k$ : Le déplacement relatif au niveau "k" par rapport au niveau k – 1 suivant chaque sens  
 $\delta_{e\ x/y}^k$ : Le déplacement horizontale dû aux forces sismiques au niveau "k" suivant chaque sens  
 R: Coefficient de comportement globale de la structure, R = 5

**Tableau V-23** : Déplacement latéraux inter-étage du bloc A2 de siège APC (ROBOT2011).

niveau	Sens X				Sens Y			
	$\Delta_{ex}^k$ (m)	$\delta_x^k$ (m)	$\Delta_x^k$ (m)	$\Delta_x^k \leq \bar{\Delta}$ (m)	$\Delta_{ey}^k$ (m)	$\delta_y^k$ (m)	$\Delta_y^k$ (m)	$\Delta_y^k \leq \bar{\Delta}$ (m)
4 <sup>ème</sup> étage	0.000567	0.002835	0.00065	C.V	0.000411	0.002055	0.000375	C.V
3 <sup>ème</sup> étage	0.000437	0.002185	0.000075	C.V	0.000486	0.00243	0.000285	C.V
2 <sup>ème</sup> étage	0.000422	0.00211	0.00006	C.V	0.000543	0.002715	0.00036	C.V
1 <sup>ère</sup> étage	0.000410	0.00205	0.0014	C.V	0.000471	0.002355	0.00093	C.V
RDC	0.000398	0.00199	0.00177	C.V	0.000283	0.0011415	0.0214	C.V
Sous-sol	0.000044	0.00022	0.00022	C.V	0.000087	0.000435	0.00071	C.V

**Tableau V-24 :** Déplacement latéraux inter-étage du bloc B1 de siège APC (ETABS V.9.6.0).

niveau	Sens X				Sens Y			
	$\Delta_{ex}^k$ (m)	$\delta_x^k$ (m)	$\Delta_x^k$ (m)	$\Delta_x^k \leq \bar{\Delta}$ (m)	$\Delta_{ey}^k$ (m)	$\delta_y^k$ (m)	$\Delta_y^k$ (m)	$\Delta_y^k \leq \bar{\Delta}$ (m)
1 <sup>ère</sup> étage	0.0049	0.0245	0.01	C.V	0.0003	0.0015	0.0005	C.V
RDC	0.0029	0.0145	0.014	C.V	0.0002	0.001	0.001	C.V
Sous-sol	0.0001	0.0005	0.0005	C.V	0	0	0	C.V

**Tableau V-25 :** Déplacement latéraux inter-étage du bloc B2 de siège APC (ETABS V.9.6.0).

niveau	Sens X				Sens Y			
	$\Delta_{ex}^k$ (m)	$\delta_x^k$ (m)	$\Delta_x^k$ (m)	$\Delta_x^k \leq \bar{\Delta}$ (m)	$\Delta_{ey}^k$ (m)	$\delta_y^k$ (m)	$\Delta_y^k$ (m)	$\Delta_y^k \leq \bar{\Delta}$ (m)
1 <sup>ère</sup> étage	0.0061	0.031	0.013	C.V	0.0064	0.0032	0.0014	C.V
RDC	0.0036	0.018	0.0175	C.V	0.0035	0.0018	0.0018	C.V
Sous-sol	0.0001	0.0005	0.0005	C.V	0	0	0	C.V

**V-5-1-6-Justification vis-à-vis de l'effet P – Δ :**

Selon le RPA 99 version 2003 (Art 5.9) les effets du 2<sup>o</sup> ordre (ou l'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 :  $\left\{ \begin{array}{l} P_k: \text{Poid totale de la structure associées du niveau "k"} ; P_k = \sum (W_{Gi} + 0.2W_{Qi}) \\ V_{x/y}^k: \text{Effort tranchant d'étage au niveau "k" suivant chaque sens.} \\ \Delta_{x/y}^k: \text{Déplacement relatif du niveau k" par rapport au niveau k - 1" suivant chaque sens} \\ h_k: \text{Hauteur de l'étage "k" (étage courant: 3.40 m ; sous - sol: 4.08 m)} \end{array} \right.$

**Tableau V-26 :** Vérification de l'effet P – Δ du bloc A2 de siège APC (ROBOT2011).

niveau	Sens X					Sens Y				
	$P_k$ (t)	$\Delta_x^k$ (m)	$V_x^k$ (t.m)	$\theta$ (m)	$\theta \leq 0.1$	$P_k$ (t)	$\Delta_y^k$ (m)	$V_y^k$ (t.m)	$\theta$ (m)	$\theta \leq 0.1$
4 <sup>ème</sup> étage	246.645	0.00065	43.89	0.001	C.V	246.645	0.00038	9.28	0.00507	C.V
3 <sup>ème</sup> étage	501.12	0.00008	59.60	0.0002	C.V	501.12	0.00029	12.63	0.00088	C.V
2 <sup>ème</sup> étage	758.55	0.00006	78.81	0.0002	C.V	758.55	0.00036	15.21	0.00089	C.V
1 <sup>ère</sup> étage	1173.49	0.0014	88.87	0.0054	C.V	1173.49	0.00093	19.26	0.0250	C.V
RDC	1245.47	0.00177	103.76	0.0062	C.V	1245.47	0.0214	20.20	0.0320	C.V
Sous-sol	1508.13	0.00022	105.43	0.0002	C.V	1508.13	0.00071	21.17	0.0049	C.V

**Tableau V-27** : Vérification de l'effet  $P - \Delta$  du bloc B1 de siège APC (ETABS V.9.6.0).

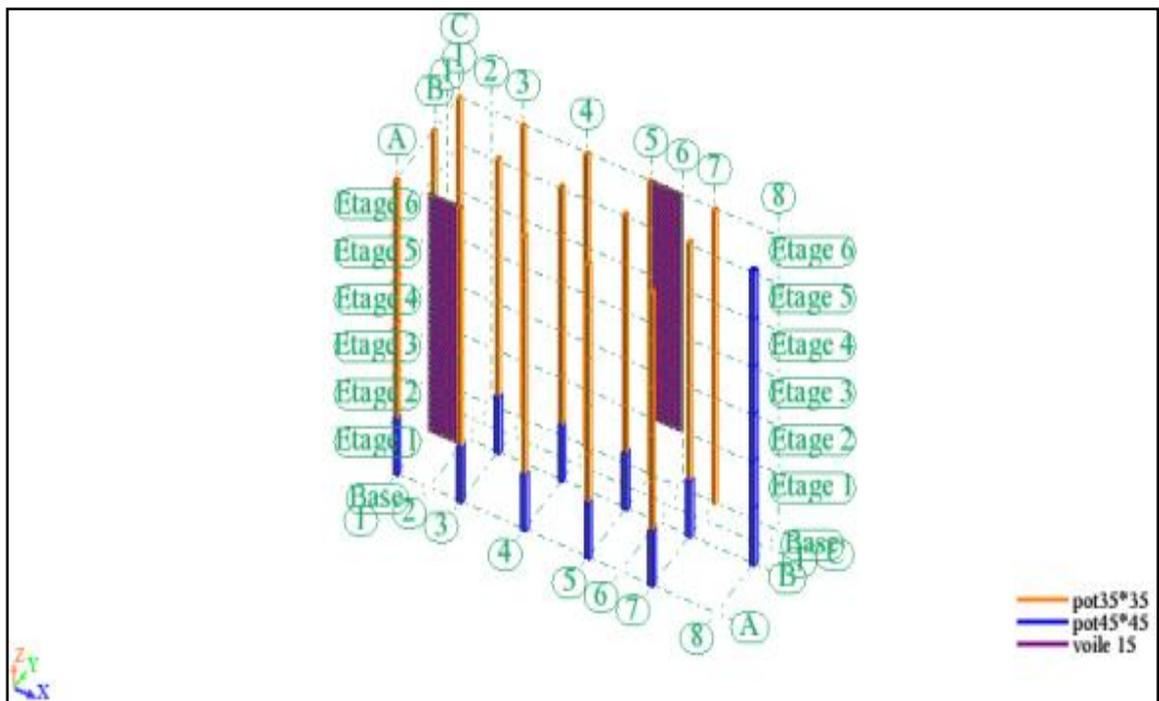
niveau	Sens X					Sens Y				
	$P_k$ (t)	$\Delta_x^k$ (m)	$V_x^k$ (t.m)	$\theta$ (m)	$\theta \leq 0.1$	$P_k$ (t)	$\Delta_y^k$ (m)	$V_y^k$ (t.m)	$\theta$ (m)	$\theta \leq 0.1$
1 <sup>ère</sup> étage	341.38	0.01	27.64	0.033	C.V	341.38	0.0005	29	0.0023	C.V
RDC	745.22	0.014	44.51	0.047	C.V	745.22	0.001	46.2	0.0040	C.V
Sous-sol	1449.91	0.0005	64.7	0.0027	C.V	1449.91	0	70.84	0	C.V

**Tableau V-28** : Vérification de l'effet  $P - \Delta$  du bloc B2 de siège APC (ETABS V.9.6.0).

niveau	Sens X					Sens Y				
	$P_k$ (t)	$\Delta_x^k$ (m)	$V_x^k$ (t.m)	$\theta$ (m)	$\theta \leq 0.1$	$P_k$ (t)	$\Delta_y^k$ (m)	$V_y^k$ (t.m)	$\theta$ (m)	$\theta \leq 0.1$
1 <sup>ère</sup> étage	428.89	0.013	38.62	0.042	C.V	428.89	0.0014	23.13	0.071	C.V
RDC	865.71	0.0175	59.03	0.075	C.V	865.71	0.0018	12.65	0.035	C.V
Sous-sol	1520.57	0.0005	86.66	0.002	C.V	1520.57	0	2.33	0.08	C.V

❖ **V-5-2-Justification de la sécurité après disposition des voiles :**

On va ajouter les voiles de contreventement pour le bloc A1, et voici les différentes variantes des dispositions des voiles pour ce bloc :



**Figure V-10** : 1<sup>ère</sup> disposition des voiles du bloc A1 de siège APC

$$T_{dynamique} = 0.51 \text{ s}$$

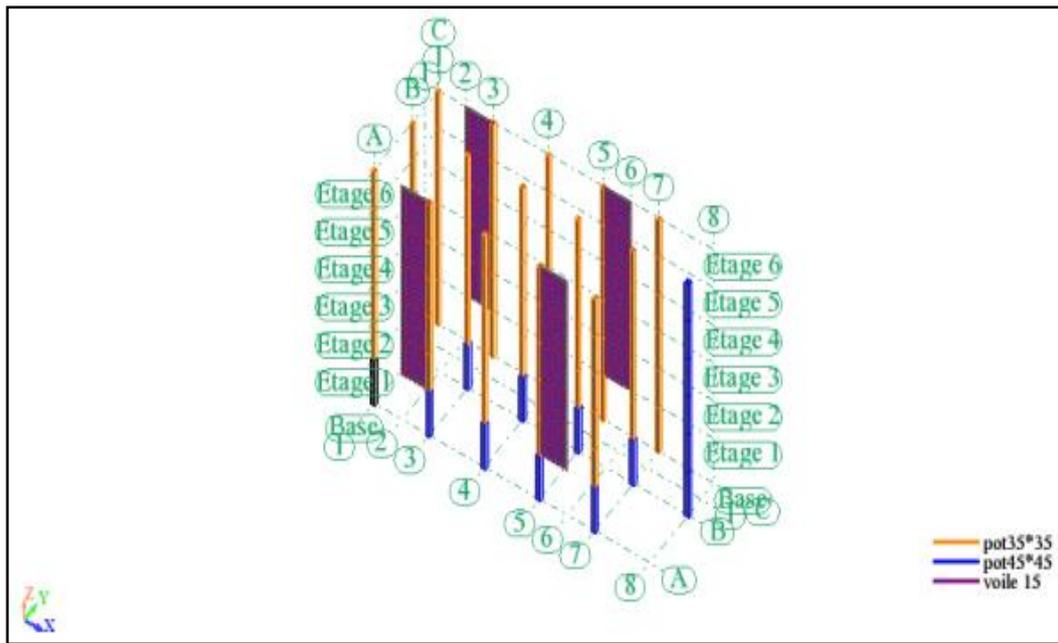


Figure V-11 : 2<sup>ème</sup> disposition des voiles du bloc A1 de siège APC

$$\begin{cases} W = \text{tons} \\ T_{\text{dynamique}} = 0.49 \text{ s} \end{cases}$$

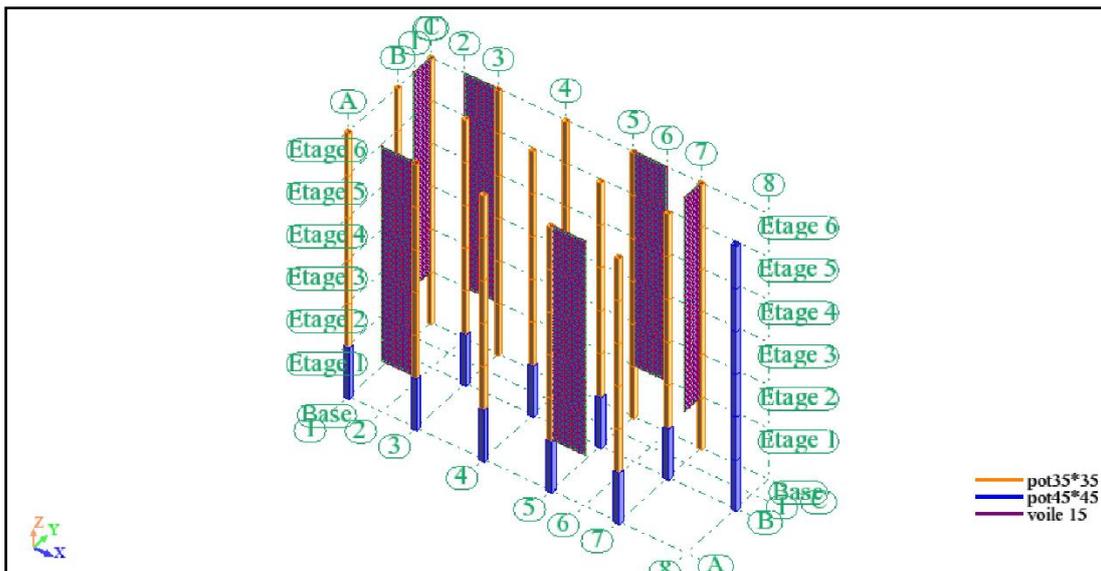


Figure V-12 : 3<sup>ème</sup> disposition des voiles du bloc A1 de siège APC

$$\begin{cases} T_{\text{dynamique}} = 0.37 \text{ s} \\ W = 1383.6 \text{ tons} \\ V_{\text{dynamique}} = 91.53 \text{ tons} \end{cases}$$

Et voici aussi les déformations correspondant à chaque mode du bloc A1 :

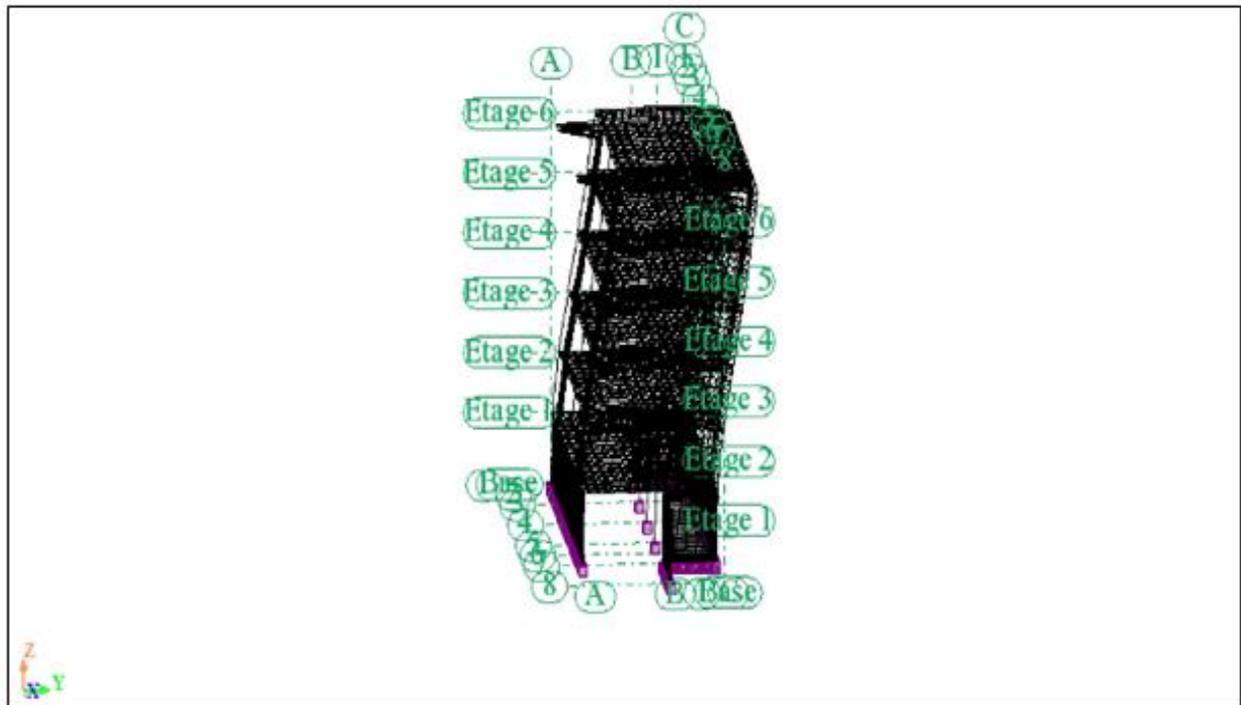


Figure V-13 : La déformation du bloc A1 au mode 1 (avec voile).

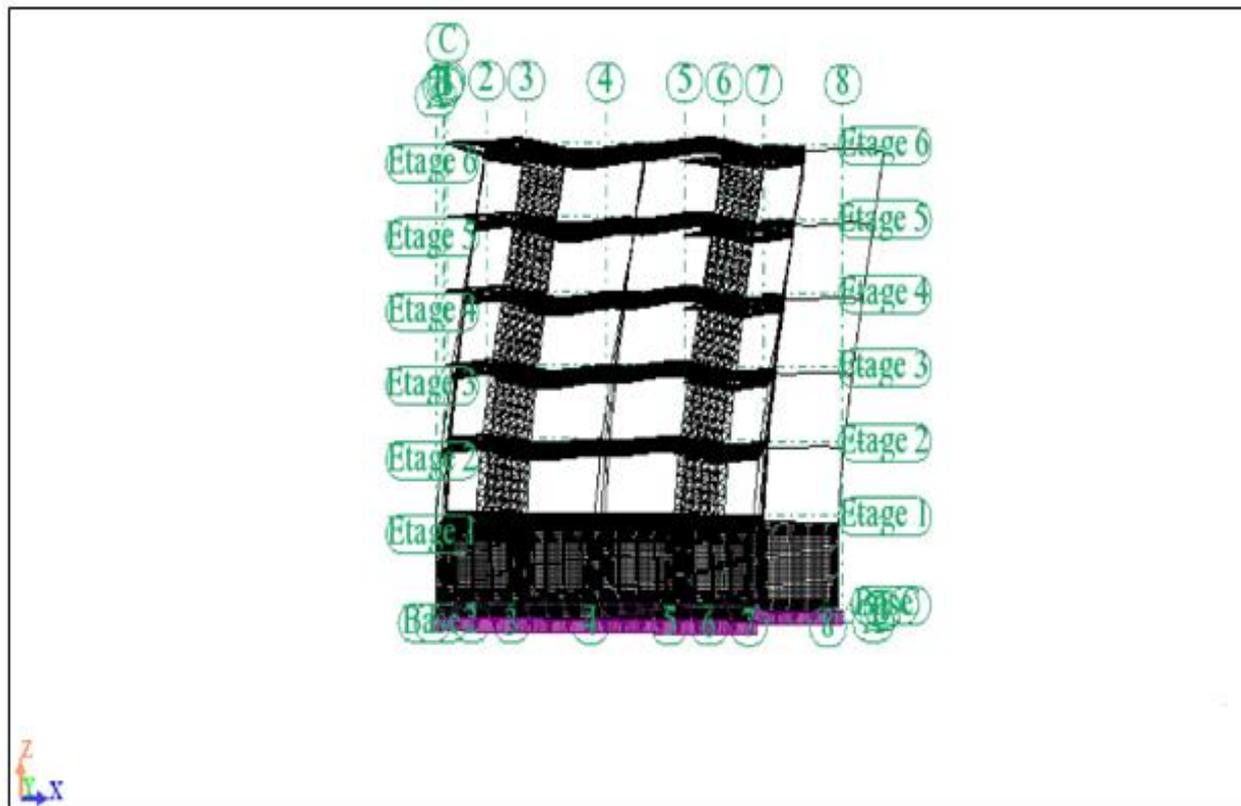


Figure V-14 : La déformation du bloc A1 au mode 2 (avec voile).

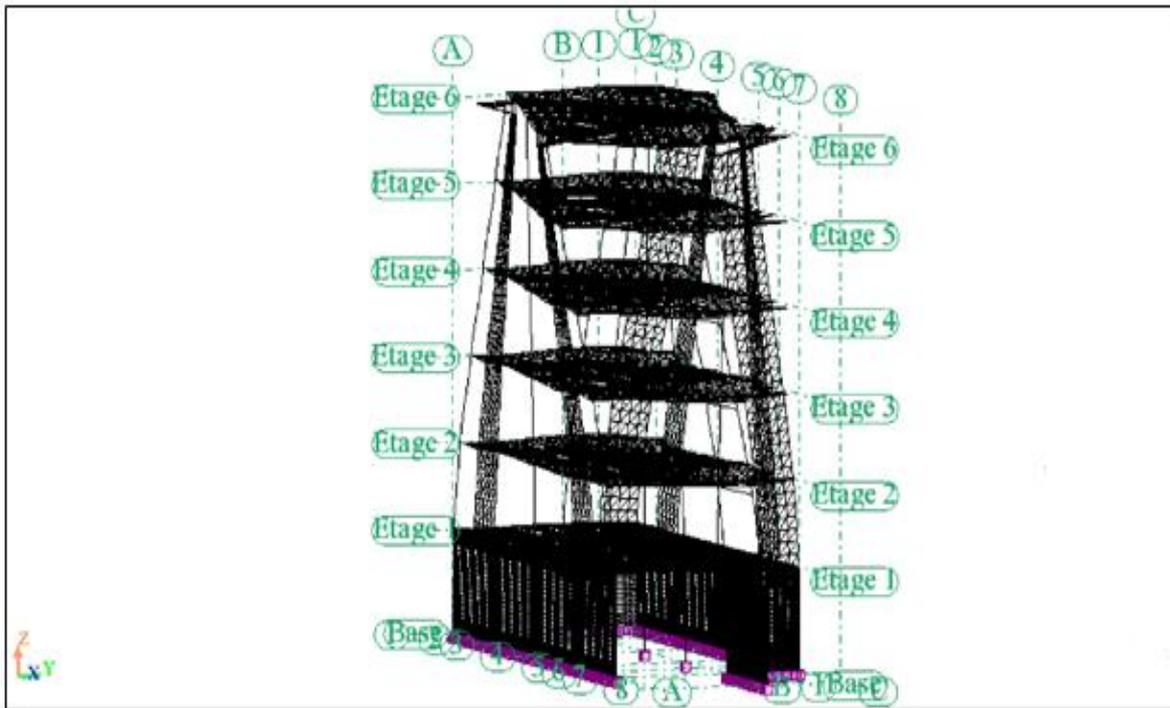


Figure V-15 : La déformation du bloc A1 au mode 3 (avec voile).

**Vérification des coefficients de participation modale :**

**Bloc A1 :**

- Sens longitudinal :  $\sum \bar{\alpha}_i = 61.71 \% < 90 \% \dots\dots\dots$ condition non vérifiée.
- Sens transversal :  $\sum \bar{\alpha}_i = 70.12 \% < 90\% \dots\dots\dots$  condition non vérifiée.

**Tableau V-29 :** Périodes et facteurs de participation modale (résultats ROBOT2011)

Cas/Mode	Période [sec]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]
1	0.37	0.00	70.12
2	0.26	61.71	0.00
3	0.22	2.12	0.02
4	0.10	0.00	14.11
5	0.08	0.27	0.00
6	0.08	0.00	0.00
7	0.07	0.08	0.00

**Vérification de la résultante des forces sismiques de calcul**

**Bloc A1 :**

- Sens longitudinal :  $\begin{cases} V_{dx} = 201.01 \text{ t} \\ 80\%V_{st} = 73.22 \text{ t} \end{cases} \rightarrow$  condition vérifier
- Sens transversal :  $\begin{cases} V_{dy} = 210.68 \text{ t} \\ 80\%V_{st} = 73.22 \text{ t} \end{cases} \rightarrow$  condition vérifier

**Vérification de la période**

- Bloc A1 :**  $\begin{cases} T_{numérique} = 0.37 \text{ s} \\ 30\%T_{empirique} = 0.39 \text{ s} \end{cases} \rightarrow$  condition vérifier.

**Vérification de l'effort normale réduit :****Tableau V-30** : Vérification spécifique des poteaux du bloc A1 du siège APC (ROBOT2011).

N <sup>bre</sup> d'étage	N <sub>Acc</sub> [kN]	f <sub>c28</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	B[cm <sup>2</sup> ]	$\frac{N_{Acc}}{B \times f_{c28}} \leq 0.3$
4 <sup>ème</sup> étage (35 × 35)	53.28	2.5	1225	Condition vérifier
3 <sup>ème</sup> étage (35 × 35)	49.39	2.5	1225	Condition vérifier
2 <sup>ème</sup> étage (35 × 35)	49.22	2.5	1225	Condition vérifier
1 <sup>ère</sup> étage (35 × 35)	47.97	2.5	1225	Condition vérifier
RDC (35 × 35)	44.81	2.5	1225	Condition vérifier
Sous-sol (45 × 45)	78.44	2.5	2025	Condition vérifier

**Vérification des déplacements :**

- **Justification vis-à-vis des déformations**

**Tableau V-31** : Déplacement latéraux inter-étage du bloc A1 de siège APC (ROBOT2011).

niveau	Sens X				Sens Y			
	$\Delta_{ex}^k$ (m)	$\delta_x^k$ (m)	$\Delta_x^k$ (m)	$\Delta_x^k \leq \bar{\Delta}$ (m)	$\Delta_{ey}^k$ (m)	$\delta_y^k$ (m)	$\Delta_y^k$ (m)	$\Delta_y^k \leq \bar{\Delta}$ (m)
4 <sup>ème</sup> étage	0.000643	0.003215	0.00024	C.V	0.000406	0.00203	0.00042	C.V
3 <sup>ème</sup> étage	0.000691	0.003455	0.000075	C.V	0.000491	0.002455	0.00055	C.V
2 <sup>ème</sup> étage	0.000706	0.00353	0.00045	C.V	0.000502	0.00251	0.0002	C.V
1 <sup>ère</sup> étage	0.000617	0.00308	0.0014	C.V	0.000462	0.00231	0.00093	C.V
RDC	0.000337	0.00168	0.00154	C.V	0.000276	0.00138	0.00106	C.V
Sous-sol	0.000028	0.00014	0.00014	C.V	0.000064	0.00032	0.00032	C.V

**Justification vis-à-vis de l'effet P – Δ :**

**Tableau V-32:** Vérification de l'effet  $P - \Delta$  du bloc A1 de siège APC (ROBOT2011).

niveau	Sens X					Sens Y				
	$P_k$ (t)	$\Delta_x^k$ (m)	$V_x^k$ (t.m)	$\theta$ (m)	$\theta \leq 0.1$	$P_k$ (t)	$\Delta_y^k$ (m)	$V_y^k$ (t.m)	$\theta$ (m)	$\theta \leq 0.1$
4 <sup>ème</sup> étage	257.462	0.00024	34.71	0.0007	C.V	257.462	0.00042	5.88	0.0031	C.V
3 <sup>ème</sup> étage	514.92	0.00008	61.78	0.0003	C.V	514.92	0.00055	11.55	0.0001	C.V
2 <sup>ème</sup> étage	772.39	0.00045	81.48	0.0012	C.V	772.39	0.0002	16.13	0.0001	C.V
1 <sup>ère</sup> étage	1023.75	0.0014	95.06	0.005	C.V	1023.75	0.00093	19.29	0.024	C.V
RDC	1241.16	0.00154	100.97	0.0056	C.V	1241.16	0.00106	20.92	0.022	C.V
Sous-sol	1528.31	0.00014	101.5	0.0006	C.V	1528.31	0.00032	21.47	0.0024	C.V

**Vérification du largeur de joint sismique :**

Deux bloc voisins doivent être séparés par des joints sismiques dont la largeur minimale  $d_{min}$  Satisfait la condition suivante :

$$d_{min} = 15\text{mm} + (\delta_1 + \delta_2)\text{mm} \leq 40\text{mm} \quad \text{RPA99 V2003 (Art 5.8)}$$

Avec :  $\delta_1$  et  $\delta_2$  sont les déplacements maximaux des deux bloc au niveau du sommet de bloc le moins élevé.

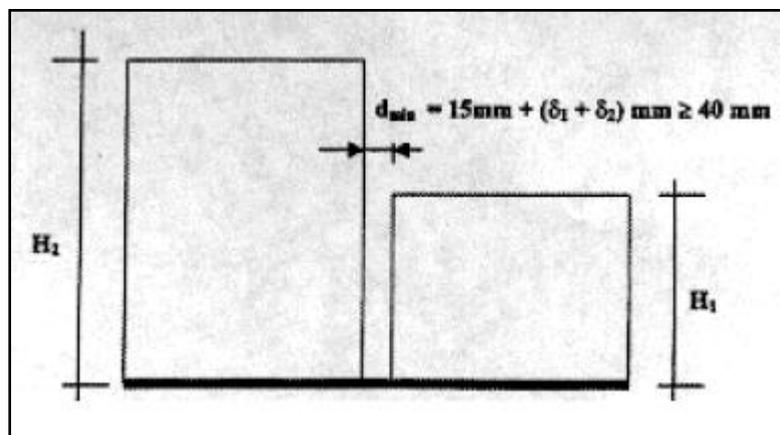
Pour notre siège nous avons deux joint sismique :

1<sup>ère</sup> Joint entre les deux blocs A1 et A2 suivant le sens X

2<sup>ème</sup> Joint entre les deux blocs B1 et B2 suivant le sens Y

**Tableau V-33 :** Vérification du largeur de joint sismique du siège APC.

Joint	$\delta_1$ (mm)	$\delta_2$ (mm)	$d_{min}$ (mm)	$d_{min} \leq 40$ mm
1 <sup>ère</sup> joint	3.53	2.835	21.37	Condition vérifier
2 <sup>ème</sup> joint	1.50	3.20	19.70	Condition vérifier



**Figure V-16 :** largeur minimum du joint sismique

## **Conclusion :**

### **Finalement :**

On peut dire que suivant **les règles parasismiques algériennes RPA 99 / version 2003** les quatre blocs du notre siège APC sont stable dans le cas de présence d'action sismique.