

V.1-INTRODUCTION :

L'étude sismique consiste à évaluer les efforts de l'action séismique sur notre structure.

Pour cela, plusieurs méthodes approchées ont été proposées à fin d'évaluer les efforts internes

Engendrés à l'intérieur de la structure sollicitée ; le calcul de ces efforts sismiques peut être menée par trois manières :

- Méthode statique équivalente.
- La méthode de l'analyse modale spectrale.
- La méthode de l'analyse dynamique par accélérogramme.

Les deux méthodes de calcul utilisées dans notre étude sont la méthode statique

V.2.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.3.Présentation du logiciel 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 (**Eurocode**, 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 modélisation des éléments structuraux est effectuée comme suit :

- Les voiles ont été modélisés par des éléments « SHELL » à quatre nœuds.
- Les dalles ont été modélisées par des éléments « SHELL » (dalles pleines).

La masse des planchers est calculée de manière à inclure la quantité βQ 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.3.Méthode de calcul :

Le calcul de la réponse sismique et la répartition des efforts dans les différents éléments de la structure, on distingue principalement deux méthodes d'analyse :

1. Méthode d'analyse statique équivalente ;
2. Méthode d'analyse modale spectrale.

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

Réponse 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 ce basant sur les hypothèses suivantes **équivalente et la méthode dynamique modale spectrale**

- Masse supposée concentrée au niveau des nœuds principaux (nœud maître) ;
- Seul les déplacements horizontaux sont pris en compte ;
- Les planchers et les fondations sont considérés rigides dans leur plan ;
- Le nombre de mode à prendre en compte est tel que la somme des coefficients de participation modale soit au moins égale à 90%.

1.Méthode d'analyse modale spectrale :

a)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.

b-Spectre de réponse de calcul :

L'action sismique est représenté par le spectre de calcul suivant :

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

C) Critères de classification selon les RPA99/Version 2003.**.Régularité en plan et en élévation :**

Notre structure est classée irrégulière en plan :

$$0,25 \leq \frac{l_x}{L_X} \leq 4$$

$0,25 \leq 1,65 \leq 4$; *Condition vérifiée*

$$\frac{l_x}{L_X} \leq 0,25 \rightarrow \frac{8,35}{29,8} = 0,28 > 0,25 \quad \text{condition non vérifiée}$$

$$\frac{l_x 2}{L_X} = \frac{4}{29,8} = 0,13 < 0,25 \quad \text{condition vérifiée}$$

d) 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 4.1 des RPA99/Version 2003 :

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

Avec

- **A** : **coefficient d'accélération de zone**, donné par le tableau (4.1) de **RPA99/Version 2003** suivant la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment.
- **D** : **facteur d'amplification dynamique moyen**, fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (h) et de la période fondamentale de la structure (T).
- **R** : **coefficient de comportement global de la structure**, sa valeur unique est

Donnée par le tableau (4.3) des RPA99/Version 2003 en fonction du système de Contreventement.

- **Q** : facteur de qualité de la structure, est fonction de la redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent, de la régularité en plan et en élévation et de la qualité du contrôle de la construction

- Coefficient d'accélération de zone (A)

Le coefficient d'accélération de zone **A** est donné par le tableau (4.1) du RPA en fonction de la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment. Dans notre cas nous avons d'après les RPA :

Pour une structure située en Zone (**IIa**) avec un groupe d'usage **2** on a **A = 0,15**

- Facteur d'amplification dynamique moyen (D)

Le Facteur d'amplification dynamique moyen D est fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (η) et de la période fondamentale de la structure (T) selon formule suivante :

$$D = \begin{cases} 2,5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3 s \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2}{3}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3}{T}\right)^{\frac{5}{3}} & T \leq 3 s \end{cases}$$

Le facteur de correction d'amortissement « η » est donnée par la formule suivante :

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}} \geq 0,7$$

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 :

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

Tableau 1 Pourcentage d'amortissement critique

a) Estimation de la période fondamentale de la structure :

La valeur de la période fondamentale « T » de la structure peut être estimée à partir de formules empiriques ou calculée par des méthodes analytiques ou numériques.

La formule empirique à utiliser selon les cas est la suivante : $T = C_t h_N^{3/4}$ (I)

h_N : Hauteur mesurée en mètres à partir de la base la structure jusqu'au dernier niveau (N) ;

C_t : Coefficient en fonction du système de contreventement et du type de remplissage, il est donné par le tableau 4.6 du RPA 2003.

Si on est dans le cas n° 3 ou 4, on peut également utiliser la formule : $T = 0,09 \frac{h_N}{\sqrt{D}}$ (II)

D : Dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée.

Dans ce cas de figure, il y a lieu de retenir dans chaque directions considérée la plus petite des deux valeurs donnée respectivement par I et II.

On a un sol ferme \Rightarrow site2 donc $T_1 = 0,15 \text{ sec}$ et $T_2 = 0,4 \text{ sec}$

$$T_a = C_t [h_N]^{(3/4)} = 0,05 \times [41,82]^{(3/4)} = 0,82 \text{ sec}$$

$$T_b = \begin{cases} T_x = 0,09 h_n / \sqrt{D_x} = 0,09 \times 32,64 / \sqrt{29,8} = 0,7 \text{ sec} \\ T_y = 0,09 h_n / \sqrt{D_y} = 0,09 \times 32,64 / \sqrt{18,03} = 0,9 \text{ sec} \end{cases}$$

$$T_{sta} = \min(T_a, T_b)$$

$$T_{sta} = \begin{cases} T_x = 0,7 \text{ sec} \\ T_y = 0,82 \text{ sec} \end{cases}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}} \geq 0,7 \Rightarrow \eta = \sqrt{\frac{7}{2 + 10}} = 0,76 ; \xi = 10\%$$

$$T_2 \leq T \leq 3 \text{ s} \Rightarrow$$

$$D = \begin{cases} D_x = 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T_x}\right)^{2/3} = 2,5 \times 0,935 \times \left(\frac{0,4}{0,7}\right)^{2/3} = 1,31 \text{ sec} \\ D_y = 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T_y}\right)^{2/3} = 2,5 \times 0,935 \times \left(\frac{0,4}{0,82}\right)^{2/3} = 1,18 \text{ sec} \end{cases}$$

$$Q : \text{Facteur de qualité} : Q = 1 + \sum_1^5 P_q$$

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

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	0,10

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

Voici les critères à prendre en compte :

$$Q = 1 + (0,00 + 0,05 + 0,00 + 0,05 + 0,05 + 0,10) = 1,25$$

R : Coefficient de comportement global de la structure

Notre structure est une structure mixte portique /voile avec interaction et par

Conséquent le coefficient de comportement R = 5

(Tableau. 4.3 des RPA99/Version 2003)

- Une première constatation vise à placer en plan un nombre suffisant et une meilleure disposition des voiles de contreventement, pour cela plusieurs tentatives ont été abordées à commencer par la variante proposée par le BET

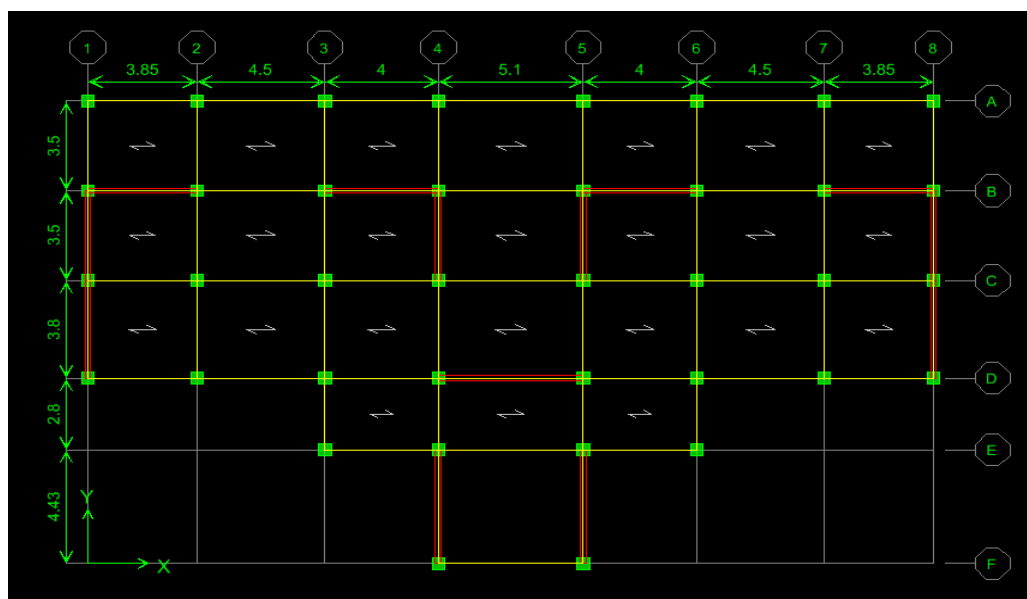


Figure 1 : variante proposée(1) par le bureau d'étude

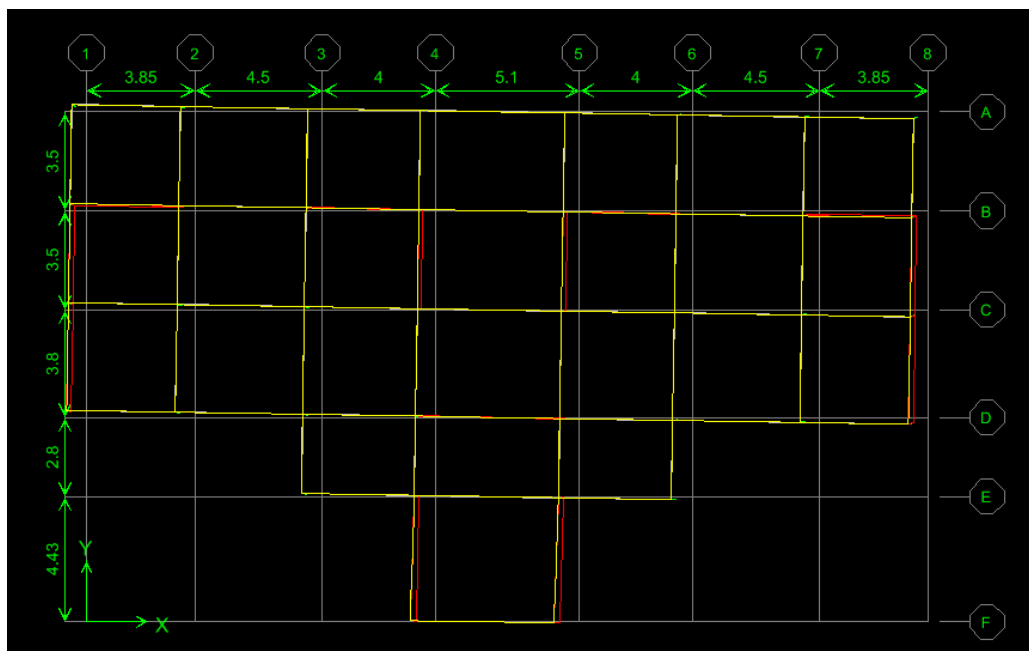


Figure 2 : La variante proposée (1)

(Mode1 (torsion)) :

Cette mauvaise disposition de voiles tend à provoquer une torsion au mode fondamental de vibration de notre structure ce qui nous conduit à chercher une deuxième variante avec une meilleure disposition.

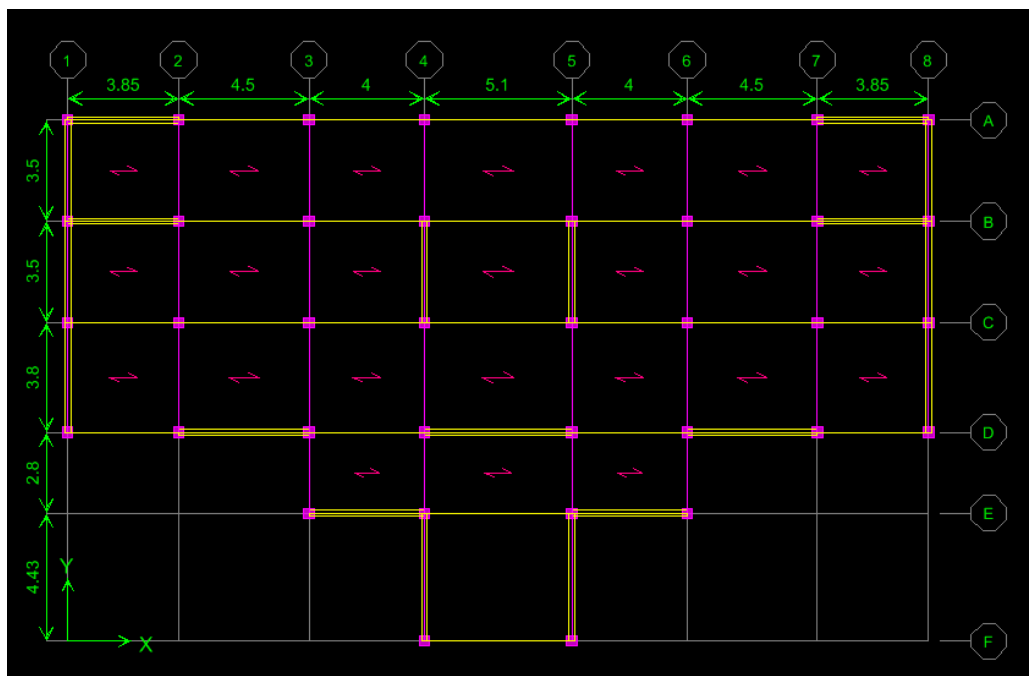


Figure 3 : Analyse de la structure proposée « Variante 02 »

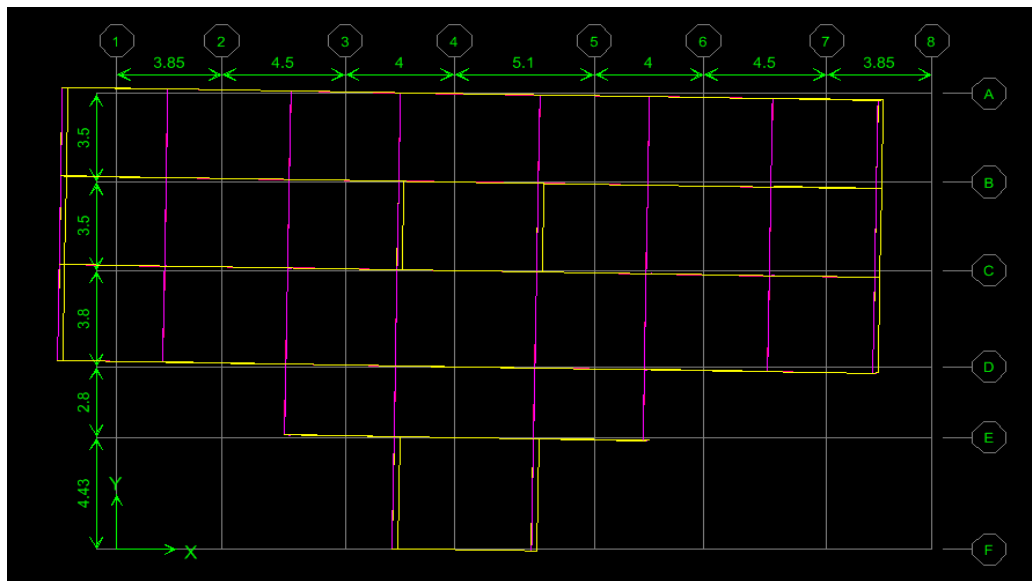


Figure 4 : La variante proposée (2 Mode1 (torsion))

Mode1 (torsion) : $T = 0,73$ s

On remarque qu'il y'a toujours une torsion de la structure au mode 1

Nous proposons alors comme premier critère de contreventer les angles du bâtiment pour contrecarrer cette torsion: on passe à la troisième variante

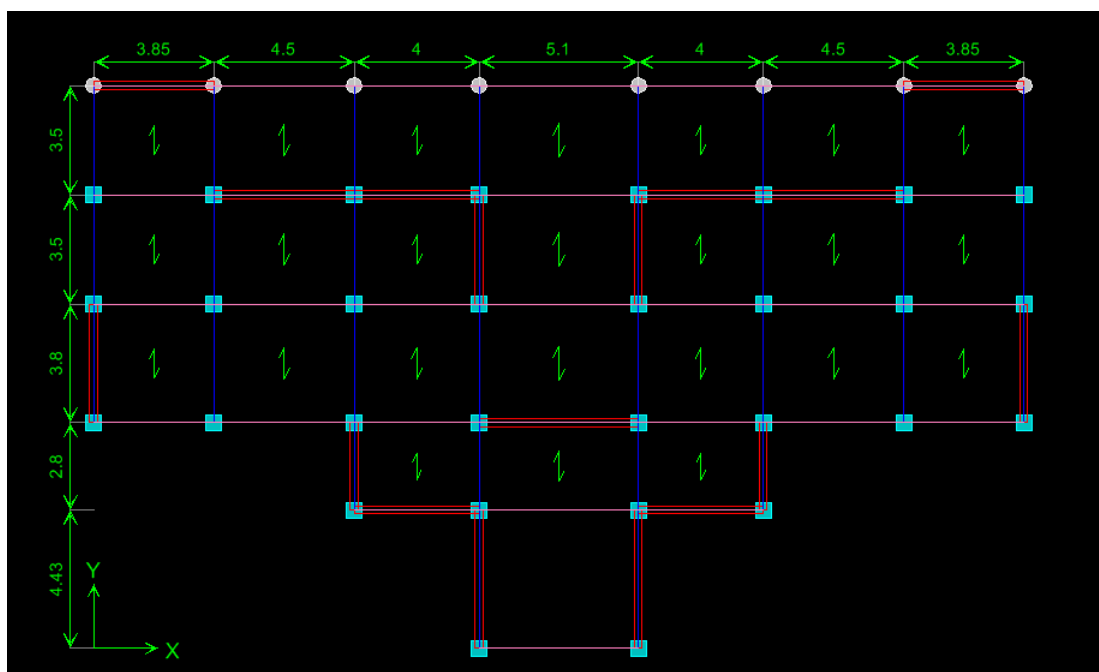


Figure 5 : La variante proposée(3)

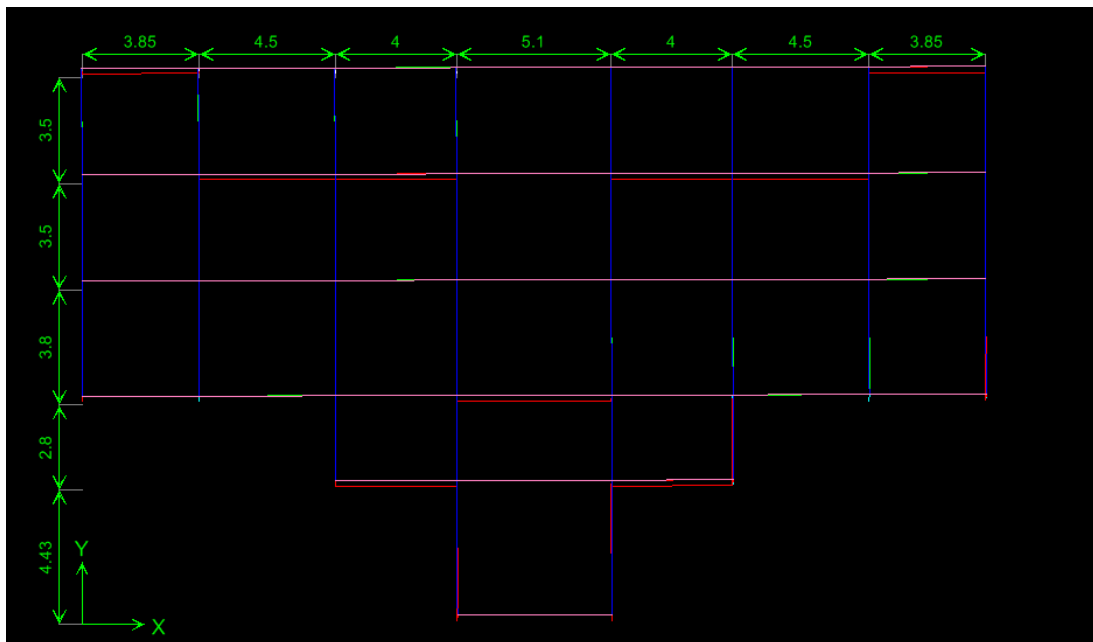


Figure 6 : Analyse de la structure proposée (Variante 3)

Mode 1 : translation T= 0,815 s

• **Centre de torsion:**

Les coordonnées du centre de torsion sont déterminées par les formules suivantes :

$$\diamond X_t = \frac{\sum(I_{xi} \times X_i)}{\sum I_{xi}}$$

$$\diamond Y_t = \frac{\sum(I_{yi} \times Y_i)}{\sum I_{xyi}}$$

- $X_t = 14,19\text{m}$
- $Y_t = 11,35\text{m}$
- Les coordonnées du centre de graviter
- $X_g = 14,9\text{m}$
- $Y_g = 11,35\text{m}$

1. Evaluation des excentricités :

Selon les **RPA** on doit calculer deux types d'excentricités :

- • Excentricité théorique.
- • Excentricité accidentelle.
- Excentricités théoriques
- a- L'excentricité théorique : (e_{th})

$$e_x^{th} = X_g - X_t = 14,9 - 14,19 = 0,71\text{m}.$$

$$e_y^{th} = Y_g - Y_t = 11,35 - 11,35 = 0\text{m}.$$

b- L'excentricité de RPA : (e_{RPA})

$$e_x^{RPA} = 5\% \times L_x = 0,05 \times 29,8 = 1,49m.$$

$$e_y^{RPA} = 5\% \times L_y = 0,05 \times 18,03 = 0,901m.$$

$$e_x^{\max} = \max(0; 1,49) = 1,49 \text{ m.}$$

$$e_y^{\max} = \max(0; 0,901) = 0,901 \text{ m.}$$

$$X_{NM} = X_g + e_x^{\max} = 14,9 + 1,49 = 16,39m.$$

$$Y_{NM} = Y_m + e_y^{\max} = 11,35 + 0,901 = 12,25m.$$

IV.7.Poids total de la structure "W" :

Selon les RPA il faut prendre la totalité des charges permanentes et une fraction β des charges d'exploitations, d'après : (le tableau 4.5, RPA99 .V 2003) .

$$WT = \sum w_i \text{ Avec } W_i = W_{gi} + \beta w_{qi}$$

W_{gi} : poids due aux charges permanente.

W_{qi} : charge d'exploitation.

β : coefficient de pondération (d'après RPA99 ; $\beta = 0,2$)

Détermination les poids totales (W_t) de la structure

plancher	$G \times s$	$4.47 \times 381,11$	1703,561KN
poteaux	$N \times b \times h \times He$ $\times \gamma b$	$\frac{1}{2}(38 \times 0.35 \times 0.35 \times 3.06 \times 25)$	178.05KN
Poutre principale	$B \times h \times \gamma b \times L_x$ $\times n$	$0,3 \times 0,4 \times 25 \times (13,1 + 5,1 + 29,8 \times 4)$	412.2KN
Poutre secondaire	$B \times h \times \gamma b$ $\times (L_y \times n)$	$0,3 \times 0,35 \times 25 \times (10,8 \times 4 + 2,8 \times 2 + 4,43 \times 2)$	279.45KN
Murs extérieurs	$Gm \times L$ $\times (He - b) \times U$ $\times 80\%$	$\frac{1}{2}(2,81 \times 2,66 \times 57,9) \times 80\%$	173,104KN
voile	$ep \times \gamma b \times L$ $\times (ht - b)$	$0,2 \times 25 \times 2,66 \times 37,76$	251,104KN
Charge d'exploitation	$Q \times s \times \beta$	$1,5 \times 381,11 \times 0,2$	114.33 KN
			3272,87199KN

Tableau 3 : détermination w au niveau de la terrasse

plancher	$G \times s$	$5,15 \times 381,11$	1962,716KN
poteaux	$N \times b \times h \times He$ $\times \gamma b$	$(38 \times 0,35 \times 0,35 \times 3,06 \times 25)$	356,12KN
Poutre principale	$B \times h \times \gamma b \times Lx$ $\times n$	$0,3 \times 0,4 \times 25 \times (13,1 + 5,1 + 29,8 \times 4)$	412.2KN
Poutre secondaire	$B \times h \times \gamma b$ $\times (Ly \times n)$	$0,3 \times 0,35 \times 25 \times (10,8 \times 8 + 2,8 \times 2 + 4,43 \times 2)$	279.45KN
Murs extérieurs	$Gm \times L$ $\times (He - b)$ $\times 80\%$	$(2,81 \times 2,66 \times 43,2) \times 80\%$	346,223KN
voile	$ep \times \gamma b \times L$ $\times (ht - b)$	$0,2 \times 25 \times 37,76 \times 2,66$	502,208KN
Charge d'exploitation	$Q \times s \times \beta$	$1,5 \times 381,11 \times 0,2$	114,33 KN
			3850,13KN

Tableau 4 : détermination w au niveau de 10^{ème} et 9^{ème} étage

plancher	$G \times s$	$5,15 \times 381,11$	1962,716KN
poteaux	$N \times b \times h \times He$ $\times \gamma b$	$(38 \times 0,35 \times 0,35 \times 3,06 \times 25)$	356,12KN
Poutre principale	$B \times h \times \gamma b \times Lx$ $\times n$	$0,3 \times 0,4 \times 25 \times (13,1 + 5,1 + 29,8 \times 4)$	412.2KN
Poutre secondaire	$B \times h \times \gamma b$ $\times (Ly \times n)$	$0,3 \times 0,35 \times 25 \times (10,8 \times 8 + 2,8 \times 2 + 4,43 \times 2)$	279.45KN
Murs extérieurs	$Gm \times L$ $\times (He - b) \times U$ $\times 80\%$	$(2,81 \times 2,66 \times 57,9) \times 80\%$	346,223KN
voile	$ep \times \gamma b \times L$ $\times (ht - b)$	$0,2 \times 25 \times 37,76 \times 2,66$	502,208KN
Charge d'exploitation	$Q \times s \times \beta$	$1,5 \times 381,1 \times 0,2$	114,33 KN
			3904,63KN

Tableau 5 : détermination w au niveau de 8^{ème} étage

plancher	$G \times s$	$5,15 \times 381,11$	1962,716KN
poteaux	$N \times b \times h \times He \times \gamma b$	$(38 \times 0.35^2 + 0,4^2 \times 3.06 \times 25)$	410,6132KN
Poutre principale	$B \times h \times \gamma b \times Lx \times n$	$0,3 \times 0,4 \times 25 \times (13,1 + 5,1 + 29,8 \times 4)$	412.2KN
Poutre secondaire	$B \times h \times \gamma b \times (Ly \times n)$	$0,3 \times 0,35 \times 25 \times (10,8 \times 8 + 2,8 \times 2 + 4,43 \times 2)$	279.45KN
Murs extérieurs	$Gm \times L \times (He - b) \times U \times 80\%$	$(2,81 \times 2,66 \times 57,9) \times 80\%$	3959,14KN
voile	$ep \times \gamma b \times L \times (ht - b)$	$0,2 \times 25 \times 37,76 \times 2,66$	502,208KN
Charge d'exploitation	$Q \times s \times \beta$	$1,5 \times 381,11 \times 0,2$	114,33KN
			3959,14KN

Tableau 6 : détermination w au niveau de 7^{eme} et 6^{eme} étage

plancher	$G \times s$	$5,15 \times 381,11$	1962,716KN
poteaux	$N \times b \times h \times He \times \gamma b$	$\frac{1}{2}(38 \times 0.45^2 + 0,4^2 \times 3.06 \times 25)$	526,89KN
Poutre principale	$B \times h \times \gamma b \times Lx \times n$	$0,3 \times 0,4 \times 25 \times (13,1 + 5,1 + 29,8 \times 4)$	412.2KN
Poutre secondaire	$B \times h \times \gamma b \times (Ly \times n)$	$0,3 \times 0,35 \times 25 \times (10,8 \times 8 + 2,8 \times 2 + 4,43 \times 2)$	279.45KN
Murs extérieurs	$Gm \times L \times (He - b) \times U \times 80\%$	$\frac{1}{2}(2,81 \times 2,66 \times 57,9) \times 80\%$	3959,14KN
voile	$ep \times \gamma b \times L \times (ht - b)$	$0,2 \times 25 \times 37,76 \times 2,66$	697,72KN
Charge d'exploitation	$Q \times s \times \beta$	$1,5 \times 381,11 \times 0,2$	114,33 KN
			4020,91KN

Tableau 7 : détermination w au niveau de 5^{eme} étage

plancher	$G \times s$	$5,15 \times 381,1$	1962,716KN
Poteaux	$N \times b \times h \times He$ $\times \gamma b$	$(38 \times 0,45^2 \times 3.06 \times 25)$	588,68KN
Poutre principale	$B \times h \times \gamma b \times Lx$ $\times n$	$0,3 \times 0,4 \times 25 \times (13,1 + 5,1 + 29,8 \times 4)$	412.2KN
Poutre secondaire	$B \times h \times \gamma b$ $\times (Ly \times n)$	$0,3 \times 0,35 \times 25 \times (10,8 \times 8 + 2,8 \times 2 + 4,43 \times 2)$	279.45KN
Murs extérieurs	$Gm \times L$ $\times (He - b) \times U$ $\times 80\%$	$(2,81 \times 2,66 \times 57,9) \times 80\%$	258,326KN
Voile	$ep \times \gamma b \times L$ $\times (ht - b)$	$0,2 \times 25 \times 37,76 \times 2,66$	697,72KN
Charge d'exploitation	$Q \times s \times \beta$	$1,5 \times 381,11 \times 0,2$	107,57 KN
			4082,69KN

Tableau 8 : détermination w au niveau de 4^{ème} et 3^{ème} étage

plancher	$G \times s$	$5,15 \times 381,11$	1962,716KN
Poteaux	$N \times b \times h \times He$ $\times \gamma b$	$\frac{1}{2}(38 \times 0,50^2 \times 5,1 + 0,4^2 \times 3.06 \times 25)$	30039KN
Poutre principale	$B \times h \times \gamma b \times Lx$ $\times n$	$0,3 \times 0,4 \times 25 \times (13,1 + 5,1 + 29,8 \times 4)$	412.2KN
Poutre secondaire	$B \times h \times \gamma b$ $\times (Ly \times n)$	$0,3 \times 0,35 \times 25 \times (10,8 \times 8 + 2,8 \times 2 + 4,43 \times 2)$	279.45KN
Murs extérieurs	$Gm \times L$ $\times (He - b) \times U$ $\times 80\%$	$\frac{1}{2}(2,81 \times 7,36 \times 57,9) \times 80\%$	357,37KN
Voile	$ep \times \gamma b \times L$ $\times (ht - b)$	$(0,2 \times 2,66 + 0,25 \times 4,7 \times 37,76 \times 25)/2$	1119,37KN
Charge d'exploitation	$Q \times s \times \beta$	$1,5 \times 381,1 \times 0,2$	114,33 KN
			4830,24KN

Tableau 9 : détermination w au niveau de 2^{ème} étage

plancher	$G \times s$	$5,15 \times 381,11$	1962,716KN
poteaux	$N \times b \times h \times He$ $\times \gamma b$	$(38 \times 050^2 \times 5,1 \times 25)$	1211 ,258KN
Poutre principale	$B \times h \times \gamma b \times Lx$ $\times n$	$0,3 \times 0,4 \times 25 \times (13,1 + 5,1 + 29,8 \times 4)$	412.2KN
Poutre secondaire	$B \times h \times \gamma b$ $\times (Ly \times n)$	$0,3 \times 0,35 \times 25 \times (10,8 \times 8 + 2,8 \times 2 + 4,43 \times 2)$	279.45KN
Murs extérieurs	$Gm \times L$ $\times (He - b) \times U$ $\times 80\%$	$(2,81 \times 9,4 \times 57,9) \times 80\% / 2$	456,43KN
Voile	$ep \times \gamma b \times L$ $\times (ht - b)$	$0,25 \times 25 \times 52,46 \times 4,7$	1541,01KN
Charge d'exploitation	$Q \times s \times \beta$	$2,5 \times 321,25 \times 0,2$	160,65 KN
			5439,14KN

Tableau 10 : détermination w au niveau de 1^{ère} étage.

plancher	$G \times s$	$5,15 \times 381,11$	1962,71KN
Poteaux	$N \times b \times h \times He$ $\times \gamma b$	$(38 \times 0,4^2 \times 4,08 + 5,1 \times 25)$	1090,13KN
Poutre principale	$B \times h \times \gamma b \times Lx$ $\times n$	$0,3 \times 0,4 \times 25 \times (13,1 + 5,1 + 29,8 \times 4)$	412.2KN
Poutre secondaire	$B \times h \times \gamma b$ $\times (Ly \times n)$	$0,3 \times 0,35 \times 25 \times (10,8 \times 8 + 2,8 \times 2 + 4,43 \times 2)$	279.45KN
Murs extérieurs	$Gm \times L$ $\times (He - b) \times U$ $\times 80\%$	$(2,81 \times 4,7 \times 57,9) \times 80\%$	305,87KN
Voile	$ep \times \gamma b \times L$ $\times (ht - b)$	$\frac{1}{2}[0,25 \times 25(84,16 \times 3,68 + 4,7 \times 37,76)]$	1522,44KN
Charge d'exploitation	$Q \times s \times \beta$	$4 \times 381,11 \times 0,2$	304,88 KN
			5743,29KN

Tableau 11 : détermination w au niveau de RDC et S-Sol étage

$$W_{\text{total}} = 50995,082\text{KN}$$

Niveau	Hauteur (cm)	Sens x-x			Sens y-y			$\overline{\delta}_k$	$\Delta_k \leq \overline{\delta}_k$
		δ_{ek} (cm)	δ_k (cm)	Δ_k (cm)	δ_{ek} (cm)	δ_k (cm)	Δ_k (cm)		
10	306	0,0112	0,056	0,005	0,0242	0,121	0,0115	3,06	Vérifié
9	306	0,0102	0,051	0,0055	0,0219	0,1095	0,012	3,06	Vérifié
8	306	0,0091	0,0455	0,0055	0,0195	0,0975	0,012	3,06	Vérifié
7	306	0,008	0,04	0,0055	0,0171	0,0855	0,012	3,06	Vérifié
6	306	0,0069	0,0345	0,005	0,0148	0,074	0,0115	3,06	Vérifié
5	306	0,0059	0,0295	0,0055	0,0124	0,062	0,012	3,06	Vérifié
4	306	0,0048	0,024	0,005	0,0101	0,0505	0,0115	3,06	Vérifié
3	306	0,0038	0,019	0,0045	0,008	0,04	0,0105	3,06	Vérifié
2	306	0,0029	0,0145	0,0045	0,006	0,03	0,01	3,06	Vérifié
1	306	0,002	0,01	0,009555	0,0042	0,021	0,009	5,1	Vérifié
RDC	510	0,0009	0,0045	0,004	0,0018	0,009	0,012	5,10	Vérifié
S.sol	510	0,0001	0,0005	0,0005	0,0003	0,0015	0,0015	4,08	Vérifié

Tableau 12 : les déplacements relatifs aux différents niveaux dans les deux sens

Les déplacements relatifs inter-étages sont vérifiés et par conséquent le critère de Justification de la sécurité de l'article 5.10 du RPA 99/2003 est vérifiée.

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

Les effets du 2^o 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 »

Δ_k : Déplacement relatif du niveau « K » par rapport à « K-1 ».

h_k : Hauteur de l'étage « K » :

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

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

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Niveau	W	P _K	Δk _x	Δk _y	V _X	V _Y	h	θ _X	θ _Y
10	3850,13	3850,13	0,005	0,0115	330,86	330,86	3,06	0,020	0,043
9	3850,13	7700,26	0,0055	0,012	637,47	637,47	3,06	0,021	0,046
8	3904,63	11604,89	0,0055	0,012	923,87	923,87	3,06	0,022	0,048
7	3959,14	15564,03	0,0055	0,012	1189,38	1189,38	3,06	0,023	0,051
6	3959,14	19523,17	0,005	0,0115	1430,01	1430,01	3,06	0,022	0,0226
5	4020,91	23544,08	0,0055	0,012	1649,06	1649,06	3,06	0,025	0,055
4	4082,69	27626,77	0,005	0,0115	1845,85	1845,85	3,06	0,024	0,056
3	4082,69	31709,46	0,0045	0,0105	2016,97	2016,97	3,06	0,023	0,053
2	4830,24	36539,7	0,0045	0,01	2189,05	2189,05	3,06	0,024	0,054
1	5439,14	41978,84	0,00955	0,009	2348,65	2348,65	5,10	0,033	0,031
RDC	5743,29	47722,13	0,004	0,012	2456,98	2456,98	5,10	0,015	0,038
S.sol	5743,29	53465,42	0,0005	0,0005	2505,13	2505,13	4,08	0,026	0,0026

Tableau 13 : Les résultats obtenus

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