

V-ETUDE SISMIQUE

1. INTRODUCTION :

Un séisme est une libération brutale de l'énergie potentielle accumulée dans les roches par le jeu des mouvements relatifs des différentes parties de l'écorce terrestre. Lorsque les contraintes dépassent un certain seuil, une rupture d'équilibre se produit et donne naissance aux ondes sismiques qui se propagent dans toutes les directions et atteignent la surface du sol. Ces mouvements du sol excitent les ouvrages par déplacement de leurs appuis et sont plus ou moins amplifiés dans la structure. Le niveau d'amplification dépend essentiellement de la période de la structure et de la nature du sol.

Ce implique de bien faire toute une étude pour essayer de mettre en évidence le comportement dynamique de l'ouvrage.

2. OBJECTIFS DE L'ETUDE DYNAMIQUE:

L'objectif initial de l'étude dynamique d'une structure est la détermination de ses caractéristiques dynamiques propres. Ceci est obtenu en considérant son comportement en vibration libre non-amortie. Cela nous permet de calculer les efforts et les déplacements maximums lors d'un séisme.

L'étude dynamique d'une structure telle qu'elle se présente réellement, est souvent très complexe et demande un calcul très fastidieux voire impossible. C'est pour cette raison qu'on fait souvent appel à des modélisations qui permettront de simplifier suffisamment le problème pour pouvoir l'analyser.

3. CHOIX DE LA METHODE DE CALCUL :

L'étude sismique a pour but de calculer les forces sismiques ; ces calculs peuvent mener par trois méthodes qui sont les suivantes :

- la méthode statique équivalente.
- la méthode d'analyse modale spectrale.
- la méthode d'analyse dynamique par accélérogramme.

Conditions d'application de la méthode statique équivalente :

a. Le bâtiment ou bloc étudié, satisfaisait aux conditions de régularité en plan et en élévation prescrites au chapitre III, paragraphe 3.5 avec une hauteur au plus égale à 65m en zones I et II et à 30m en zones III

b. Le bâtiment ou bloc étudié présente une configuration irrégulière tout en respectant, autres 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 17m.
- groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10m.

Zone IIb et III :

- groupes d'usage 3 et 2, si hauteur est inférieure ou égale à 5 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.

Conditions d'application de la méthode d'analyse modale spectrale :

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.

Conditions d'application de la méthode d'analyse dynamique :

La méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes peut être utilisée au cas par cas par un personnel qualifié, ayant justifié auparavant les choix des séismes de calcul et des lois de comportement utilisées ainsi que la méthode d'interprétation des résultats et les critères de sécurité à satisfaire.

- ✓ Notre structure ne répond pas aux conditions exigées par RPA99version2003 pour pouvoir utiliser la méthode statique équivalente; alors le calcul sismique se fera par la méthode dynamique spectrale.

4. CLASSIFICATION DE L'OUVRAGE :

La classification des ouvrages se fait sur le critère de l'importance de l'ouvrage relativement au niveau sécuritaire, économique et social.

- ✓ Notre ouvrage étant un bâtiment d'habitation situé à Alger (Zone III), il sera classé en 'Groupe2'.

5. CLASSIFICATION DE SITE :

D'après l'article (3.3 RPA99version2003); les sites sont classés en quatre (04) catégories en fonction des propriétés mécanique des sols qui les constituent :

- Catégorie S1 (site rocheux).
- Catégorie S2 (site ferme).
- ✓ Catégorie S3 (site meuble).
- Catégorie S4 (site très meuble).

catégorie	Description	q _c (MPa)	N	P1 (MPa)	Ep (Mpa)	q _u (MPa)	V _s (m/s)
S ₁	Rocheux	-	-	> 5	> 100	> 10	≥ 800
S ₂	Ferme	> 15	>50	> 2	> 20	> 0.4	≥ 400 < 800
✓ S ₃	Meuble	1.5 ~15	10~50	1 ~ 2	5 ~20	0.1 ~0.4	≥ 200 < 400
S ₄	Très meuble ou présence de 3m au moins d'argile	< 1.5	< 10	< 1	< 5	< 0.1	≥ 100 < 200

Tableau V.1 Classification des sites

- ✓ Alors notre structure est constituée dans un site de **catégorie S3** (site meuble).

6. METHODE DYNAMIQUE MODALE SPECTRALE :

A .Principe :

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

B. Hypothèses de calcul.

- ✓ Les masses sont supposées concentrées au niveau du plancher.
- ✓ Seuls les déplacements horizontaux des nœuds sont pris en compte
- ✓ Les planchers et les fondations doivent être rigides dans leurs plans (vis-à-vis des déplacements horizontaux)

c. Spectre de réponse de calcul

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

A : coefficient d'accélération de zone

η : Facteur de correction d'amortissement

Q : facteur de qualité.

R : coefficient de comportement.

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\zeta}} \geq 0.7$$

ζ : pourcentage d'amortissement critique donnée par le tableau 4.2

(RPA99version2003)

Dans notre cas $\zeta = 7\%$.

$$\Rightarrow \eta = 0.88$$

A = 0.25 (tableau 4.1 RPA99version2003)

R = 2 (structure contreventé par voiles - tableau 4.3n RPA99version2003).

T₁ = 0.15 sec (tableau 4.7 RPA99version 2003)

T₂ = 0.50 sec

d. calcul de facteur de qualité:

	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 qualité des matériaux	0	✓ 0.05
6. contrôle de qualité de l'exécution	0	✓ 0.10

Tableau V.2. : Valeurs des pénalités

$$Q = 1 + \sum P_q$$

P_q: pénalité à retenir selon le critère de qualité q. (Tableau 4.4)

$$Q = 1 + 0.05 + 0.05 + 0.05 + 0 + 0.05 + 0.1 = 1.3$$

E. Nombre de modes à considérer :

D'après le RPA99/version2003 (article 4.3.4 -a) :

Pour les structures représentées par des modèles plans dans deux directions orthogonale, le nombre de modes de vibration à retenir dans chacune des deux directions l'excitation doit être tel que :

- la somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à 90% au moins de la masse totale de la structure.
- Où que tous les modes ayant une masse modale effective supérieure à 5% de la masse totale de structure soient retenus pour la détermination de la réponse totale de la structure.
- Le minimum de modes à retenir est de trois dans chaque direction considérée.

$$k \geq 3 \sqrt{N}$$

N: est le nombre de niveaux **N:8**

Notre cas:

$$k \geq 3 * 2.82 \quad k \geq 8.48 \quad \Rightarrow \quad \boxed{k=10 \text{ modes}}$$

7. Calcule de force sismique totale :

La méthode statique équivalente d'après le (RPA99/2003 art4.2.3)

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

$$V = \frac{ADQ}{R} W$$

A: Coefficient d'accélération de zone. Donnée par tableau 4.1 suivant la zone sismique et le groupe du bâtiment

R: Coefficient de comportement global de la structure.

D: Facteur de d'amplification dynamique de la structure. En fonction de la catégorie de site, de facteur de correction d'amortissement (η), et de la période fondamentale de la structure (T).

Q: Facteur de qualité.

W: Poide de la structure.

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(T_2/T)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(T_2/3.0)^{\frac{2}{3}}(3.0/T)^{\frac{5}{3}} & T \geq 3.0s \end{cases}$$

T2 : période caractéristique, associée à la catégorie du site et donnée par le (tableau 4.7 RPA99version2003)

$$\text{Site meuble « S3 »} \Rightarrow T_2=0.5 \text{ sec}$$

η : facteur de correction d'amortissement donnée par la formule suivante :

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

ξ (%) : pourcentage d'amortissement critique donnée par le tableau 4.2 (RPA99version2003)

en fonction de matériau constitutif, du type de structure de l'importance des remplissages

Dans notre cas $\zeta = 7\%$.

$$\Rightarrow \eta = 0.88$$

A = 0.25 (tableau 4.1 RPA99version2003)

R = 2 (structure contreventé par voiles - tableau 4.3n RPA99version2003).

T1 = 0.15 sec (tableau 4.7 RPA99version 2003)

T2 = 0.50 sec

7.1 Estimation de la période fondamentale de la structure :

Remarque :

Notre cas c'est le 4^{eme} cas donc on travaille avec la formule suivante :

$$T = \frac{0.09h_n}{\sqrt{D}}$$

D : est la dimension du bâtiment mesurée à la base dans la direction de calcul considérée

h_n : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau

D= 25.60 m , h_n=27.54 m

AN :

$$T = \frac{0.09 * 27.54}{\sqrt{25.6}} = 0.49s$$

$$T_2 = 0.5s \quad T_1 = 0.15s ; \quad \text{Donc on a } 0 < T < T_2$$

D : Facteur d'amplification dynamique moyen

$$D = 2.5\eta \quad 0 \leq T \leq T_2$$

AN :

$$D = 2.5 * 0.88 = 2.2$$

Remarque :

Dans notre cas la longueur et la largeur sont égaux.

7.2 Calcul du poids :

D'après le RPA 99V2003 (article 4.2.3)

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{avec} \quad W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

- W : est égale à la somme des poids Wi, de chaque niveau (i)
- WGi : poids du aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels solidaires de la structure
- WQi: charge d'exploitation
- β : valeur de coefficient de pondération égale à 0,2 Bâtiment d'habitation

AN :

$$V = \frac{ADQ}{R} W$$

- W = 49631.58kn
- A=0.25
- D=2.

➤ Q=1.3

➤ R=2

Donc $V=17743.29 \text{ kn}$

$$V_{dyn} \geq 0.8V_{stat}$$

	Vstat	0.8Vstat	Vdyn	vérification
Sens-X	17743.29	14194.63	17685.47	✓ Ok
Sens-Y	17743.29	14194.63	17610.46	✓ Ok

Tableau V.3

Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses Cumulées UX [%]	Masses Cumulées UY [%]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]
1	4,31	0,23	34,75	43,41	34,75	43,41
2	5,22	0,19	78,83	79,01	44,08	35,6
3	5,72	0,17	78,94	79,19	0,11	0,18
4	13,5	0,07	85,2	87,12	6,26	7,93
5	15,97	0,06	92,42	92,45	7,22	5,33
6	17,08	0,06	92,47	92,51	0,05	0,06
7	24,46	0,04	93,9	94,54	1,43	2,03
8	27,96	0,04	94,63	94,97	0,73	0,43
9	28,32	0,04	95,87	95,89	1,24	0,92
10	33,91	0,03	96,48	96,78	0,61	0,89

Tableau V.4 : participation de masses

Vérification d'interaction pour la variante choisie

Verticale

étage	FZ [kN]	FZ sur les poteaux [kN]	FZ sur les voiles [kN]	les voiles	Vérification
1	-54884,42	-11513,91	-43370,52	0,79	✓ ok
2	-48408,01	-10173,08	-38234,93	0,79	✓ ok
3	-42108,2	-8852,83	-33255,37	0,79	✓ ok
4	-35906,89	-7541,77	-28365,13	0,79	✓ ok
5	-29607,57	-6222,52	-23385,06	0,79	✓ ok
6	-23405,78	-4910,74	-18495,04	0,79	✓ ok
7	-17104,94	-3590,7	-13514,24	0,79	✓ ok
8	-10904,26	-2277,21	-8627,05	0,79	✓ ok
9	-4601,51	-964,09	-3637,43	0,79	✓ ok

Tableau V.5

Horizontale:

Sens-X

étage	FX [kN]	FX sur les poteaux [kN]	FX sur les voiles [kN]	les voiles	les poteaux	Vérification
1	17089,23	455,93	16633,3	0,973	0,027	✓ ok
2	16668,89	131	16537,89	0,992	0,008	✓ ok
3	15799,69	137,56	15662,12	0,991	0,009	✓ ok
4	14560,95	121,12	14439,83	0,992	0,008	✓ ok
6	10951,94	85,57	10866,37	0,992	0,008	✓ ok
7	8569,23	62,56	8506,67	0,993	0,007	✓ ok
8	5833,73	39,85	5793,87	0,993	0,007	✓ ok
9	2647,82	23,23	2624,58	0,991	0,009	✓ ok

Tableau V.6

Sens-Y

étage	FY [kN]	FY sur les poteaux [kN]	FY sur les voiles [kN]	les voiles	les poteaux	Vérification
1	17119,08	487,76	16631,32	0,972	0,028	✓ ok
2	16693,85	157,24	16536,61	0,991	0,009	✓ ok
3	15819,2	163,09	15656,11	0,990	0,010	✓ ok
4	14573,83	144,34	14429,5	0,990	0,010	✓ ok
5	12932,65	125,14	12807,51	0,990	0,010	✓ ok
6	10952,68	103,22	10849,46	0,991	0,009	✓ ok
7	8565,03	76,66	8488,37	0,991	0,009	✓ ok
8	5827,7	49,42	5778,28	0,992	0,008	✓ ok
9	2644,7	26,81	2617,9	0,990	0,010	✓ ok

Tableau V.7

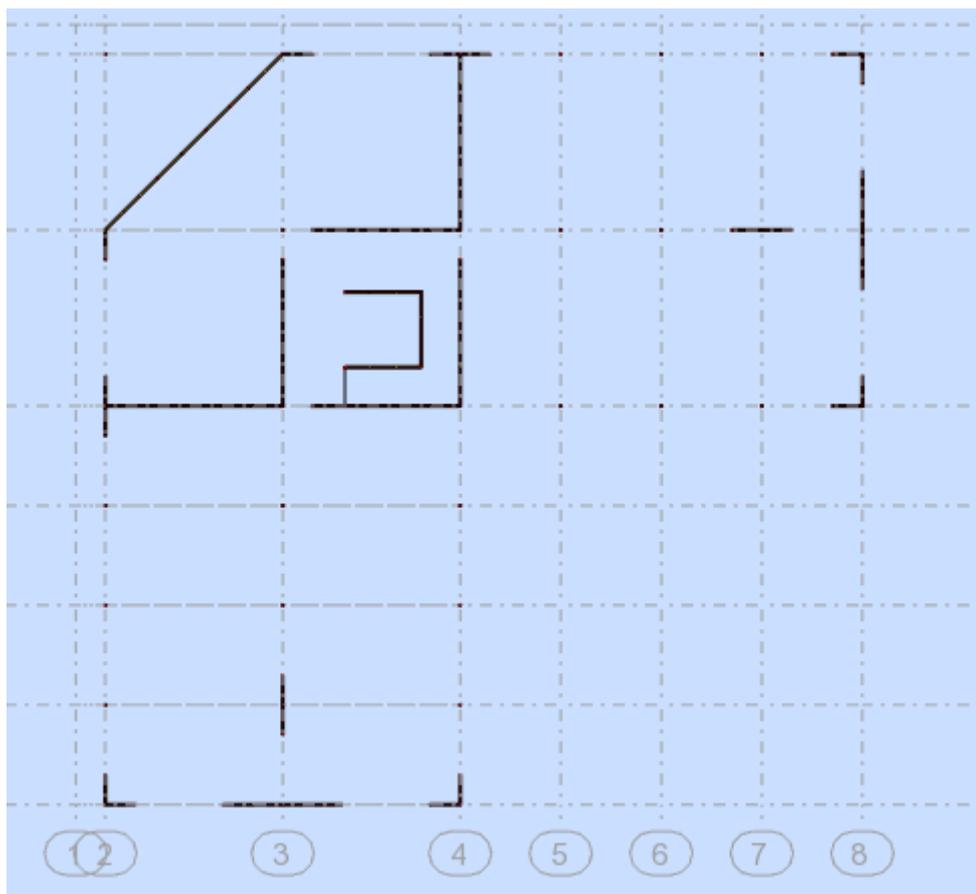
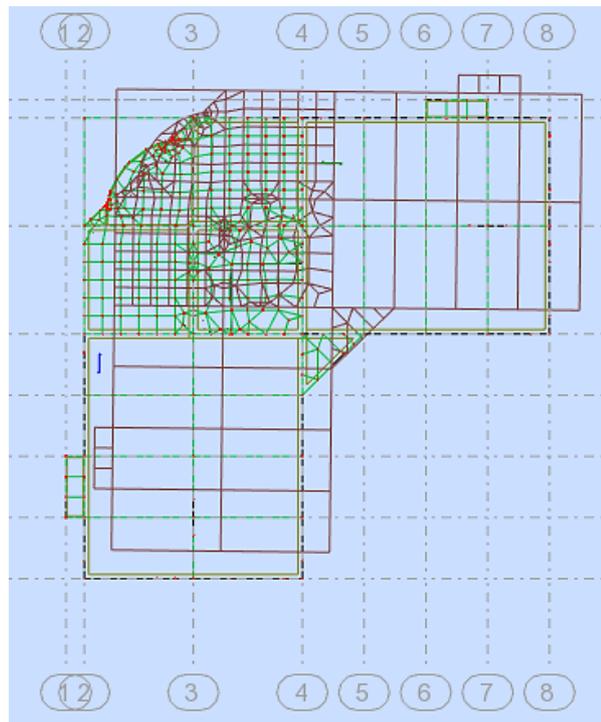


Figure 1 : disposition des voiles

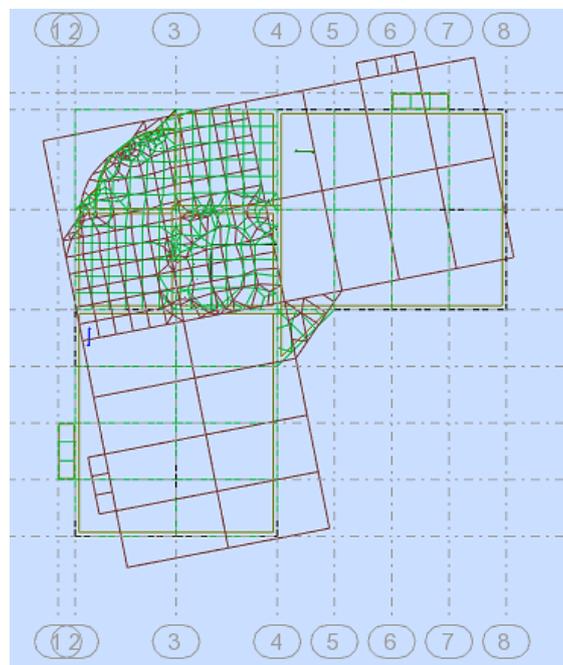
Mode 01 : Translation



Mode 02 : Translation



Mode 03 : Rotation



Figures 02 : les 3 premiers modes

7.3 Effort tranchant pour chaque étage

étage	FX [kN]	FY [kN]
1 RDC	17089,23	17119,08
2	16668,89	16693,85
3	15799,69	15819,2
4	14560,95	14573,83
5	12926,97	12932,65
6	10951,94	10952,68
7	8569,23	8565,03
8	5833,73	5827,7
9	2647,82	2644,7

Tableau V.8

Condition de RPA :

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% .On a T= 0.49

modes	T (robot)	T (calculée)	30% T calculée	vérification
1	0.25	0.49	0.147	Non
2	0.19	0.49	0.147	Non
3	0.21	0.49	0.147	Non
4	0.08	0.49	0.147	Oui
5	0,07	0.49	0.147	Oui

Tableau V.9

Remarque : Modèle erroné

Cette condition est déjà prise en considération lors la vérification de

$$V_{dyn} \geq 0.8V_{stat}$$

8. VERIFICATION DU DEPLACEMENT INTER-ETAGE :

Les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages adjacents, ne doivent pas dépasser (1,0%) de la hauteur d'étage.

Le déplacement horizontal à chaque niveau 'K' de la structure est calculé comme suit :

$$\delta_k = R \delta_{ek}$$

le déplacement relatif au niveau 'K' par rapport au niveau 'K-1' est égal à :

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

Sens X :

Etage	δ_{ek} [cm]	R	$\delta_k = \delta_{ek} * R$	$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1}$	1%*he cm	vérification
1-0	0,1	2	0,2	0,2	3,06	✓ OK
2-1	0,3	2	0,6	0,4	3,06	✓ OK
3-2	0,5	2	1	0,4	3,06	✓ OK
4-3	0,7	2	1,4	0,4	3,06	✓ OK
5-4	0,8	2	1,6	0,2	3,06	✓ OK
6-5	1	2	2	0,4	3,06	✓ OK
7-6	1,1	2	2,2	0,2	3,06	✓ OK
8-7	1,2	2	2,4	0,2	3,06	✓ OK
9-8	1,3	2	2,6	0,2	3,06	✓ OK

Tableau V.10

Sens-Y :

Etage	δ_{ek} [cm]	R	$\delta_k = \delta_{ek} * R$	$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1}$	1%*he cm	vérification
1-0	0,1	2	0,2	0,2	3,06	✓ OK
2-1	0,2	2	0,4	0,2	3,06	✓ OK
3-2	0,4	2	0,8	0,4	3,06	✓ OK
4-3	0,5	2	1	0,2	3,06	✓ OK
5-4	0,6	2	1,2	0,2	3,06	✓ OK
6-5	0,7	2	1,4	0,2	3,06	✓ OK
7-6	0,8	2	1,6	0,2	3,06	✓ OK
8-7	0,9	2	1,8	0,2	3,06	✓ OK
9-8	1	2	2	0,2	3,06	✓ OK

Tableau V.11

Conclusion :

Les déplacements inter -étage sont inférieurs aux valeurs limites imposées par le RPA99/version 2003.

9. VERIFICATION DE L'EFFORT NORMALE REDUIT :

Vérifications prescrites par le RPA paragraphe 7.1.3.3 page 59

$$v = \frac{N_d}{B_c \cdot f_{c28}} \leq 0.3$$

N_d : Désigne l'effort normal de calcul s'exerçant sur une section de béton.

B_c : L'aire de la section brute.

f_{c28} : Résistance caractéristique du béton.

poteau	A	B	f_{c28} MPA	N_{MAX} KN	$v = \frac{N_d}{B_c \cdot f_{c28}}$	Vérification
Toutes	0.4	0.4	25	518	0.169	ok

Tableau V.12

Nota :

Notre système de contreventement c'est le système **3.4.A.2 page 32 RPA 99.2003** ;

Système de contreventement constitué par des voiles porteur en béton armé .

Dans notre cas les portiques ne reprennent que 21% des charges vertical total.

10. JUSTIFICATION VIS-A-VIS DE L'EFFET DE P-Δ :

Les effets du 2° ordre (ou effet P-Δ) peuvent être négligé dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

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

PK : poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau «K».

VK : effort tranchant d'étage au niveau « K ».

ΔK : déplacement relatif du niveau 'K' par rapport au niveau « K-1 ».

hk : hauteur d'étage « K ».

Sens-X :

Etage	P_K (Kn)	Δ_{Kx} (m)	V_{Kx} [kN]	H_K (m)	θ_x	Vérification
RDC	84748,2697	0,002	17089,23	3,06	0,003241	✓ ok
1	75286,2598	0,004	16668,89	3,06	0,005904	✓ ok
2	65651,3182	0,004	15799,69	3,06	0,005432	✓ ok
3	56189,3044	0,004	14560,95	3,06	0,005044	✓ ok
4	46554,4028	0,002	12926,97	3,06	0,002354	✓ ok
5	37092,349	0,004	10951,94	3,06	0,004427	✓ ok
6	27457,4074	0,002	8569,23	3,06	0,002094	✓ ok
7	17995,4653	0,002	5833,73	3,06	0,002016	✓ ok
8	8360,4527	0,002	2647,82	3,06	0,002064	✓ ok

Tableau V.13

Sens-Y:

Etage	P_K (Kn)	Δ_{Ky} (m)	V_{Ky} [kN]	H_K (m)	θ_y	Vérification
RDC	84748,2697	0,002	11764,01	3,06	0,004709	✓ ok
1	75286,2598	0,002	11494,77	3,06	0,004281	✓ ok
2	65651,3182	0,004	10920,82	3,06	0,007858	✓ ok
3	56189,3044	0,002	10081,11	3,06	0,003643	✓ ok
4	46554,4028	0,002	8962,33	3,06	0,003395	✓ ok
5	37092,349	0,002	7599,31	3,06	0,00319	✓ ok
6	27457,4074	0,002	5944,83	3,06	0,003019	✓ ok
7	17995,4653	0,002	4048,24	3,06	0,002905	✓ ok
8	8360,4527	0,002	1841,02	3,06	0,002968	✓ ok

Tableau V.14

Remarque :

Puisque tous les coefficients θ sont inférieurs à 0.10 dans les deux sens, donc l'effet

P- Δ peut être négligé.