
V-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 exergue le comportement dynamique de l'ouvrage.

V-2) CHOIX DE LA METHODE DE CALCUL

L'étude sismique a pour but de calculer les forces sismiques et qui peut être mené par trois méthodes qui sont :

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

V-2-1) CONDITIONS D'APPLICATION DE LA METHODE STATIQUE EQUIVALENTE

1) Le bâtiment ou bloc étudié, satisfaisait aux conditions de régularité en plan avec une hauteur au plus égale à 65m en zones I et II et à 30m en zones III.

2) Le bâtiment ou bloc étudié présente une configuration irrégulière tout en respectant, outre les conditions de hauteur énoncées dans le premier point, 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.

V-2-2) CONDITIONS D'APPLICATION DE LA METHODE 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.

V-2-3) CONDITIONS D'APPLICATION DE LA METHODE 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.

V-3) CLASSIFICATION DE L'OUVRAGE SELON LES RPA 99/V2003

Afin de déterminer les coefficients dynamiques ou statiques selon la méthode adoptée, il faut tout d'abord classer l'ouvrage selon les **RPA**, ce classement se fait en fonction de plusieurs critères à savoir :

IV-3-1) Classification de notre 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 il sera classé au **groupe d'usage 2**.
- ✓ situé à Tiaret donc classé en **Zone I** selon la classification sismique des wilayas.

V-3-3) CLASSIFICATION DU SITE DE NOTRE OUVRAGE

D'après l'article 3.3 (**RPA99V/03**), les sites sont classés en quatre (04) catégories en fonction des propriétés mécaniques 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	P_1 (MPa)	E_p (MPa)	q_u (Mpa)	V_s (m/s)
S₁	Rocheux	-	-	> 5	> 100	> 10	≥ 800
S₂	Ferme	> 15	>50	> 2	> 20	> 0,4	≥ 400 < 800
S₃	Meuble	1,5 ~15	10~50	1 ~ 2	5 ~20	0,1 ~0,4	≥ 200 < 400
S₄	Très meuble ou présence de 3m au moins d'argile molle	< 1,5	< 10	< 1	< 5	< 0,1	≥ 100 < 200

Tableau 4-1: Classification des sites

➤ La structure à étudier est implantée dans un site de **catégorie S2** (site ferme).

V-4) METHODE D'ANALYSE MODALE SPECTRALE:

V-4-1) PRINCIPE DE L'ANALYSE MODALE

Pour les structures irrégulières ou pour celles ne répondant pas aux exigences de la méthode statique équivalente, il doit donc être effectué une analyse modale sur un modèle tridimensionnel qui consiste à calculer les effets maximaux d'un séisme sur une structure. Pour cela on recherche les modes de vibration de la structure qui caractérisent son comportement au voisinage des fréquences dites de résonance, En effet, la réponse d'une structure est prépondérante au droit de ces fréquences de résonance.

Étant donné qu'il existe pour une structure autant de modes de vibration que de degrés de liberté, il faut sélectionner le nombre de mode à extraire.

La recherche des modes doit être menée jusqu'à ce que les deux conditions suivantes soient respectées :

- La fréquence de 33 HZ (appelée fréquence de coupure) doit être atteinte.
- Le cumul des masses modales doit atteindre 90 % de la masse vibrante totale de plus le nombre de mode retenus ne doit pas être inférieure à trois.

V-4-2) PRESENTATION DU LOGICIEL DE CALCUL :

Vue que le calcul est très laborieux, et la résolution des équations matricielle prend énormément de temps sans compté le retard et l'abatement en cas d'erreur de calcul.

Pour cette raison et vu le développement technologique en matière d'informatique et de logiciels pratiquement tous les ingénieurs prennent un logiciel de calcul pour dimensionner leurs structures.

Nous avons pris le logiciel **ETABS 9.7.1** dans nos calculs de ce projet

V-4.2.1) Description 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 .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 utilisation plus étendue .En effet ,grâce à ces diverses fonctions il permet une décente de charges automatique et rapide ,un calcul automatique du centre de masse et de rigidité ,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.).

V-4-3) Modélisation et hypothèses de calcul:

Nous avons considéré pour notre modélisation, un modèle tridimensionnel encastré à la base, où les masses sont concentrées au niveau des centres de gravité des planchers avec trois(03) DDL, 2translations horizontales "X et Y" et une rotation au tour de l'axe vertical "Z"

Le calcul sismique a été mené avec les paramètres suivants :

- Zone de sismicité
- Classe du bâtiment
- Accélération nominale
- Type de sol
- Coefficient correctif d'amortissement
- Coefficient de masse partiel
- Coefficient de comportement
- Spectre (de réponse) de dimensionnement normalisé

En prenant en compte les hypothèses citées ci haut et en utilisant la méthode d'analyse modale spectrale, on vise à 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.

a.Spectre de réponse de calcul :

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

Avec :

g : la pesanteur = 9,81m/s²

A : Coefficient d'accélération de zone.

η : Facteur de correction d'amortissement (quand l'amortissement est différent de 5%).

R:Coefficient de comportement de la structure. Il est fonction du système de contreventement.

T₁, T₂ : Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.

Q : Facteur de qualité.

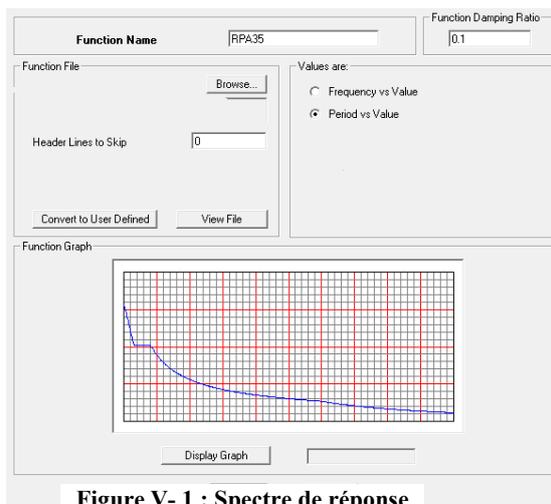


Figure V- 1 : Spectre de réponse

V-5) CALCUL DE LA FORCE SISMIQUE A LA BASE V :

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

$$V = \frac{A \times D \times Q \times W}{R} \text{ Selon le RPA 99/V2003}$$

V-5-1) DETERMINATION DES COEFFICIENTS :

- A : Coefficient d'accélération de zone :

Groupe d'usage 2 ,zone I $\Rightarrow A=0,10$

- R : coefficient de comportement global de la structure

Voiles porteurs catégorie 2 : $R = 4$

- D : facteur d'amplification dynamique moyen : il est en fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (η) et de la période fondamentale de la structure (T).

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

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

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

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

ξ est donnée par le tableau 4.2 du **RPA99**

ξ : Dans notre cas est de : $\xi = 10 \%$,

T_1, T_2 : Périodes caractéristiques associées à la catégorie du site.

$$T_1 = 0,15 \text{ s}$$

$$T_2 = 0,40 \text{ s}$$

- **T** : Estimation de la période fondamentale $T = C_T h_N^{3/4}$

Avec : h_N : hauteur totale de la structure $h_N = 34,26 \text{ m}$

C_T : coefficient donné en fonction du système de contreventement, et du type de remplissage, donné par le tableau 4.6 du RPA99.

On a : un contreventement assuré totalement par des voiles en béton armé. $C_T = 0,05$

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2 + 10)}} = 0,7638 \geq 0,7 \quad \rightarrow \text{avec } \xi = 10 \%$$

- Valeurs de T empirique :

$$\left\{ \begin{array}{l} T = C_t \times H^{3/4} = 0,05 \times 34,26^{3/4} = 0,70 \\ T_x = \frac{0,09 \times H_n}{\sqrt{D_x}} = \frac{0,09 \times 34,26}{\sqrt{27,65}} = 0,58\text{s} \\ T_y = \frac{0,09 \times H_n}{\sqrt{D_y}} = \frac{0,09 \times 34,26}{\sqrt{19,35}} = 0,69\text{s} \end{array} \right. \rightarrow \begin{cases} T_x = 0,58 \\ T_y = 0,69 \end{cases}$$

- Valeurs de D :

$$D \left\{ \begin{array}{l} D_x = 2,5 \times \eta \times \left(\frac{T_2}{T_x}\right)^{2/3} = 2,5 \times 0,7638 \times \left(\frac{0,4}{0,58}\right)^{2/3} = 1,490 \\ D_y = 2,5 \times \eta \times \left(\frac{T_2}{T_y}\right)^{2/3} = 2,5 \times 0,764 \times \left(\frac{0,4}{0,69}\right)^{2/3} = 1,327 \end{array} \right.$$

➤ Q : facteur de qualité

- Condition minimale sur les filles de contreventement
- Redondance en plan
- La régularité en plan
- La régularité en élévation
- contrôle la qualité des matériaux
- contrôle la qualité de l'exécution

La valeur de Q est déterminée par la formule $Q = 1 + \sum Pq$

Pq : est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q " est satisfait ou non".

Sa valeur est donnée au tableau (4.4) **Q = 1,2**

IV-5-2) Le poids total de la structure

W : poids de la structure qui est égal à la somme des poids W_i calculés à chaque niveau (i) par la formule (4-5):

11

$$W = \sum W_i \text{ avec } W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

1

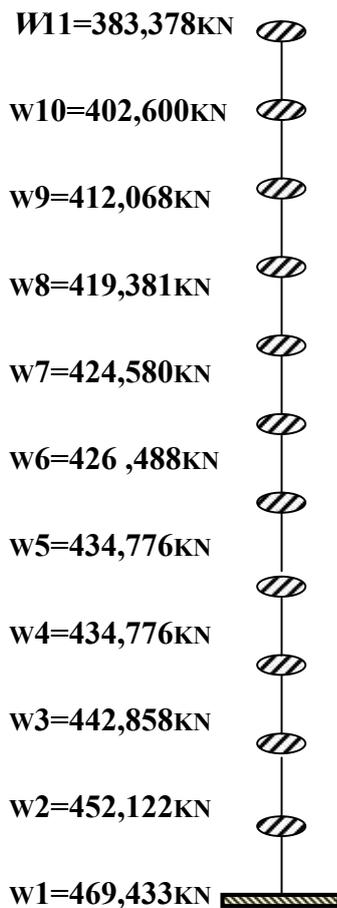
W_{Gi} : poids dû aux charges permanentes

W_{Qi} : la charge d'exploitation

β : coefficient de pondération donné par le tableau 4.5 (RPA)

Pour un bâtiment d'habitation $\beta = 0.20$

Poids total du bâtiment : $W = 4702,73 \text{ KN}$ (d'après l'étabs)



V-5-3) CALCUL DE V STATIQUE :

$$V_x = \frac{A \times D_x \times Q \times W}{R} ; \quad V_y = \frac{A \times D_y \times Q \times W}{R}$$

$$V_x = \frac{0,10 \times 1,49 \times 1,2 \times 4702,73}{4} = 210,21 \text{ kN}$$

$$V_y = \frac{0,10 \times 1,327 \times 1,2 \times 4702,73}{4} = 187,21 \text{ kN}$$

-Résultante des forces sismiques à la base V_t :

Cette dernière est obtenue par la combinaison des valeurs modale se telle ne doit pas être inférieure à 80 % de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente V, soit: $V_t > 0.8V$

Suite à l'application du spectre de calcul dans les deux sens de la structure ,les résultats sont comme suit:

Spectre	V _{sta} (kN)	V _{dyn} (kN)	80%V _{sta}	V _{dyn} >0,8V _s
E _y	210,21	22879,49	168,16	vérifier
E _x	187,21	19530,6	149,76	vérifier

Tableau V-2 : Valeur de V_{sta} et V_{dyn}

V-6) LES DEPLACEMENTS LATÉRAUX INTER- ETAGES :

L'article 5.10 du **RPA** exige à ce que les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents, ne doivent pas dépasser 1,0% de la hauteur d'étage.

L'une des vérifications préconisées par le RPA99/version 2003, concerne les déplacements latéraux inter-étages, En effet, selon l'article 5,10 du RPA99/version2003, l'inégalité ci-dessous doit nécessairement être vérifiée :

$$\Delta_x^k \leq \bar{\Delta} \quad \text{et} \quad \Delta_y^k \leq \bar{\Delta}$$

Avec:

$$\bar{\Delta} = 0,01h_e \quad \text{où} \quad h_e : \text{Hauteur de l'étage,}$$

$$\text{Avec : } \Delta_x^k = R\Delta_{ex}^k \quad \text{et} \quad \Delta_y^k = R\Delta_{ey}^k$$

$$\text{Où ; } \Delta_{ex}^k = \delta_{ex}^k - \delta_{ex}^{k-1} \quad \text{et} \quad \Delta_{ey}^k = \delta_{ey}^k - \delta_{ey}^{k-1}$$

Δ_{ex}^k : Correspond au déplacement relatif au niveau k par rapport au niveau k-1 dans le sens x (idem dans le sens y, Δ_{ey}^k),

Avec :

δ_{ey}^k : Est le déplacement horizontal dû aux forces sismiques au niveau k dans le sens x (idem dans le sens y, δ_{ey}^k),

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

Les déplacements résultants de la combinaison des charges **G+Q+E**

On a : **R= 4**

Les principaux résultats sont donnés dans le tableau suivant :

Niveau	Sens longitudinal (x)			Sens transversal (y)			0,01h _e (cm)
	δ _{ek} (cm)	δ _k (cm)	Δ _k (cm)	δ _{ek} (cm)	δ _k (cm)	Δ _k (cm)	
11 ^{ème} étage	0,1066	0,4264	0,0432	0,0891	0,3564	0,0404	< 3,06
10 ^{ème} étage	0,0958	0,3832	0,0448	0,079	0,316	0,0408	< 3,06
9 ^{ème} étage	0,0846	0,3384	0,0456	0,0688	0,2752	0,0412	< 3,06
8 ^{ème} étage	0,0732	0,2928	0,0468	0,0585	0,2340	0,0408	< 3,06
7 ^{ème} étage	0,0615	0,2460	0,0468	0,0483	0,1932	0,0400	< 3,06
6 ^{ème} étage	0,0498	0,1992	0,0452	0,0383	0,1532	0,0376	< 3,06
5 ^{ème} étage	0,0385	0,154	0,0432	0,0289	0,1156	0,0344	< 3,06
4 ^{ème} étage	0,0277	0,1108	0,0392	0,0203	0,0812	0,0300	< 3,06
3 ^{ème} étage	0,0179	0,0716	0,0332	0,0128	0,0512	0,0248	< 3,06
2 ^{ème} étage	0,0096	0,0384	0,0252	0,0066	0,0264	0,0176	< 3,06
1 ^{ème} étage	0,0033	0,0132	0,0132	0,0022	0,0088	0,0088	< 3,06

Tableau V-3 : Les déplacements latéraux inter- étages

V-7) JUSTIFICATION VIS A VIS DE L'EFFET P-Δ :

Les effets du deuxième ordre (ou l'effet de P-Δ) peuvent être négligés dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta = P_k \Delta_k / V_k h_k \leq 0,10, \quad \text{RPA99/Version 2003 (article 5,9)}$$

Avec : P_k : Poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau « k » calculés suivant le formule ci-après

$$P_k = \sum_{i=k}^n (W_{gi} + \beta W_{qi})$$

V_k : Effort tranchant d'étage au niveau « k » ,

Δ_k : Déplacement relatif du niveau « k » par rapport au niveau « k-1 » en considérant la combinaison (G+Q+E) ; h_k : Hauteur de l'étage « k » ,

h_k : hauteur de l'étage k

Sens longitudinal :

Niveau	W _g (KN)	P _k (KN)	h _k (m)	Δ _k (KN)	V _x (KN)	θ
11 ^{ème} étage	383,378	3760,93	3,06	0,0432	4155,58	0,0127
10 ^{ème} étage	402,600	3949,50	3,06	0,0448	7252,71	0,0079
9 ^{ème} étage	412,068	4042,38	3,06	0,0456	9504,98	0,0063
8 ^{ème} étage	419,381	4114,12	3,06	0,0468	11268,05	0,0055
7 ^{ème} étage	424,580	4165,12	3,06	0,0468	12769,48	0,0049
6 ^{ème} étage	426,488	4183,84	3,06	0,0452	14178,15	0,0043
5 ^{ème} étage	434,776	4265,15	3,06	0,0432	15554,89	0,0038
4 ^{ème} étage	434,776	4265,15	3,06	0,0392	16869,51	0,0032
3 ^{ème} étage	442,858	4344,43	3,06	0,0332	18065,38	0,0026
2 ^{ème} étage	452,122	4435,31	3,06	0,0252	19030,39	0,0019
1 ^{ère} étage	469,433	4605,13	3,06	0,0132	19548,48	0,0010

Tableau V-3 : l'effet P-Δ - Sens longitudinal-

- Sens transversal :**

Niveau	W _g (KN)	P _k (KN)	h _k (m)	Δ _k (KN)	V _y (KN)	θ
11 ^{ème} étage	383,378	3760,93	3,06	0,0404	4782,07	0,0103
10 ^{ème} étage	402,600	3949,50	3,06	0,0408	8510,86	0,0061
9 ^{ème} étage	412,068	4042,38	3,06	0,0412	11327,91	0,0048
8 ^{ème} étage	419,381	4114,12	3,06	0,0408	13563,26	0,0040
7 ^{ème} étage	424,580	4165,12	3,06	0,0400	15440,91	0,0035
6 ^{ème} étage	426,488	4183,84	3,06	0,0376	17155,30	0,0029
5 ^{ème} étage	434,776	4265,15	3,06	0,0344	18776,27	0,0025
4 ^{ème} étage	434,776	4265,15	3,06	0,0300	20239,47	0,0020
3 ^{ème} étage	442,858	4344,43	3,06	0,0248	21498,37	0,0016
2 ^{ème} étage	452,122	4435,31	3,06	0,0176	22438,07	0,0011
1 ^{ère} étage	469,433	4605,13	3,06	0,0088	22900,06	0,0005

Tableau V-4 : l'effet P-Δ - Sens transversal-

Rq : On a $\theta_k < 0,1$ pour chaque niveau « k » et dans les deux sens, on peut donc négliger l'effet P-Δ dans le calcul des éléments structuraux.