

Chapitre V

Etude sismique

V.1. Introduction

Le séisme correspond à une vibration du sol provoquée par une libération de l'énergie de déformation accumulée dans la croûte terrestre.

C'est un phénomène imprévisible, qui provoque plusieurs catastrophes (destruction des ouvrages, nombreuse perte de vie humaine). De ce fait, le comportement des constructions sous action dynamique est devenu un chapitre indispensable dans l'étude de n'importe quelle structure.

Le calcul sismique dans notre étude sera effectué dans le cadre du règlement parasismique algérien (RPA99) version 2003.

V.2 Méthode de calcul

Selon l'article 4.1.1 de RPA99v2003, les forces sismiques peuvent être déterminées par deux méthodes :

- méthode statique équivalente ;
- méthode dynamique modale spectrale.

V.2.1 méthode statique équivalente

a. Principe de la méthode : [RPA99/4.2.1]

Selon cette méthode les forces réelles dynamiques développées dans la structure sont remplacées par un système de forces statiques fictives appliquées successivement suivant deux directions orthogonales et ayant des effets équivalents à ceux des forces réelles.

b. conditions d'application : [RPA99/4.1.2]

- Régularité en plan : [RPA99/3.5.1.a]
- Régularité en élévation : [RPA99/3.5.1.b]

c. vérification des conditions d'application

Dans notre cas la méthode statique équivalente n'est pas applicable, puisque notre bâtiment ne vérifie pas toutes les conditions de l'article 4.1.2 ; d'ou la méthode utilisable c'est la méthode d'analyse modale spectrale.

d. Conclusion :

La méthode statique équivalente n'est pas applicable. Dans se cas là, on va appliquer la méthode dynamique. [RPA99/4.1.3]

V.2.2 Méthode dynamique modale spectrale

Peut être utilisée dans tous les cas, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise. On utilise directement les spectres de dimensionnement puisque ce sont surtout les extremums des réponses qui intéressent le concepteur et non la variation temporelle. Elle permet de simplifier les calculs. On procède alors à une analyse modale en étudiant un certain nombre de modes propres de la structure.

V.2.2.1 Modélisation

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

-Détermination des propriétés des matériaux utilisés :

Les propriétés du béton (voir chapitre I) .

-Détermination des caractéristiques géométriques des éléments utilisés:(voir chapitre II).

-Détermination des conditions aux limites :

Notre structure sera représentée par un modèle tridimensionnel encastré à la base, où les masses sont concentrées au niveau des centres de gravité des planchers avec trois degrés de liberté (deux translations horizontales et, une rotation d'axe verticale). [RPA99/4.3.2]

-Détermination de la descente des charges :

-Détermination des forces sismiques E :

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

-Détermination des combinaisons des charges :

- 1) $1.35G + 1.5Q$
- 2) $G + Q$
- 3) $0.8G + E$
- 4) $0.8G - E$
- 5) $G + Q + E$
- 6) $G + Q - E$
- 7) $G + Q + 1.2E$

V.3 Spectre de réponse de calcul

L'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 3.0s \end{cases}$$

V.3.1 Calcul du poids total de chaque plancher

Poids totale = charge permanente + $\beta\%$ × surcharge

β : Coefficient donné par le tableau 4-5-RPA99

- Pour les locaux d'habitation $\beta = 20\%$

V.3.2 Préparation des données de ETABS

a. Calcul de la masse sismique dans chaque niveau

Méthode de calcul :

G= charge permanente (Kg/m²) **P**= charge d'exploitation (Kg/m²)

Surface : **S**

Périmètre : Pér

Terrasse :

Plancher: G x S

Acrotère : S_{Acrotère} x 2500 x Pér

Poutres principales : S_{pp} x 2500 x n x L

Poutres secondaires : S_{ps} x 2500 x n x L

1/2 poteaux : 0,5 x (S_{pot} x 2500 x H_{hauteur pot} x n)

1/2 murs de façade : 0,5x(γ_{mur} x h_e x L x 0,7)

1/2 murs voiles : 0,5 x Hvoile x 2500 x pér x épaisseur

Etage courant :

Plancher: G x S

Poutres principales : S_{pp} x 2500 x n x L

Poutres secondaires : S_{ps} x 2500 x n x L

Poteaux : S_{pot} x 2500 x H_{hauteur pot} x n

murs de façade : γ_{mur} x h_e x L x 0,7

murs voiles : Hvoile x 2500 x pér x épaisseur

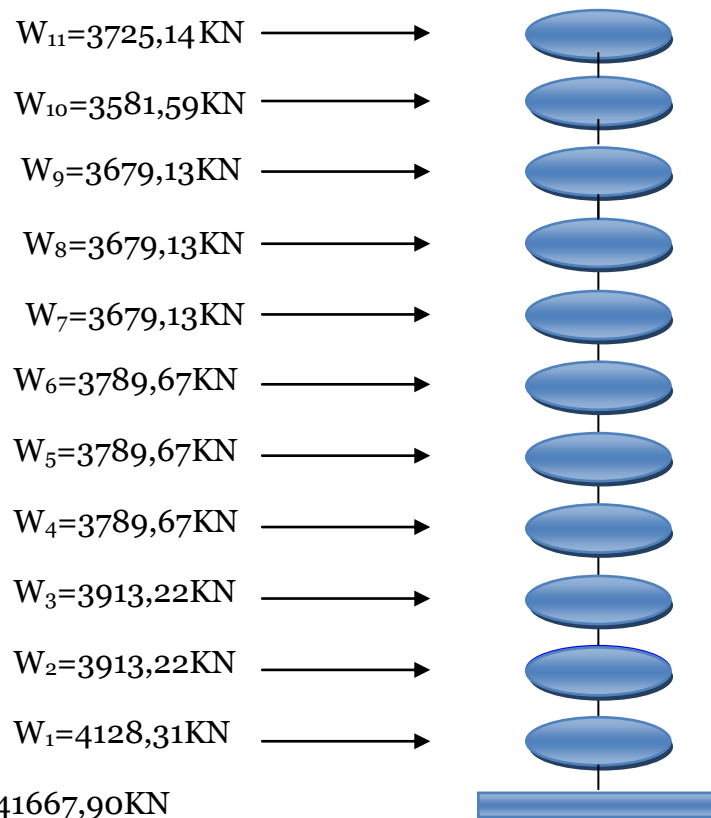
b. W : Poids total de la structure :

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

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{avec} \quad W_i = W_G + \beta W_Q \quad (4-5)$$

- W_G : Poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure
- W_Q : Charges d'exploitation.

Par conséquent, le bâtiment sera représenté par le système suivant



$$W_{\text{total}} = \sum W_i = 41667,90 \text{ KN}$$

V.3.3 Évaluation de la force sismique

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

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

Avec : **A** : coefficient d'accélération de la zone (tableau 4 -1 de RPA 99).

D : facteur d'amplification dynamique .

Q : facteur de qualité (tableau 4 – 4 de RPA 99).

R : coefficient de comportement (tableau 4 –3 de RPA 99).

W : poids totale de la structure.

V.3.3.1 résultante de la force sismique

La force sismique totale sera distribuée horizontalement et verticalement sur les différents éléments de la structure.

A la base V_t obtenue par combinaison des valeurs modales, ne doit pas être inférieur à 80% de la résultante des forces sismiques par la méthode statique équivalente.

V.3.2.2 Définitions de la valeur des coefficients

1. coefficient d'accélération de zone (A)

Donné par le tableau 4.1 (RPA.99/03) suivant la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment.

Notre bâtiment est implanté dans la région de ORAN (zone IIa) et appartient au groupe 2, pour notre cas on a : $A = 0,15$.

2. coefficient de comportement globale de structure (R)

Sa valeur unique est donnée par le tableau 4.3.RPA99 en fonction du système de contreventement, $R = 3,5$

3. facteur de qualité (Q)

La valeur de Q est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_1^6 P_q \dots\dots\dots \text{article 4-4-RPA99/03}$$

Tableau V.1 : Q : facteur de qualité en fonction des valeurs des pénalités P_q

Critère q	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 la qualité des matériaux	0	0,05
6. Contrôle de la qualité de l'exécution	0	0,10

La valeur de Q est déterminée par la formule : $Q = 1 + \sum_1^5 P_q$.(RPA 99 révisée en 2003)

$$Q_x = 1 + (0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,00 + 0,05 + 0,10) = 1,15.$$

$$Q_y = 1 + (0,00 + 0,05 + 0,00 + 0,00 + 0,05 + 0,10) = 1,20.$$

4. le pourcentage d'amortissement critique

Le pourcentage d'amortissement critique en fonction de matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages $\xi = 7\%$; (tableau 4.2.RPA99)

5. la période fondamentale T

La période T peut être estimée à partir de la formule empirique suivante : $T = C_t h_N^{3/4}$

h_N : hauteur mesurée en mètre à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

C_t : coefficient, fonction du système de contreventement du type de remplissage est donné par le tableau 4.6.RPA99.

$$C_t = 0,05$$

$$T = 0,05 \times 34,17^{3/4} \times 1,3 = 0,91 \text{ sec} < T = 0,71 \dots\dots\dots C.V$$

D : est la dimension du bâtiment mesuré à sa base dans la direction de calcul considéré.

Suivant x-x : $L_x = 26,23\text{m}$.
$$T_x = \frac{0,09h}{\sqrt{I_x}} = \frac{0,09 \times 34,17}{\sqrt{25,73}} = 0,61 \text{ s}$$

Suivant y-y : $L_y = 13,45\text{m}$.
$$T_y = \frac{0,09 \times 36,17}{\sqrt{12,95}} = 0,85 \text{ s}$$

$$T_x = \min(0,61; 0,707) \implies T_x = 0,61 \text{ s}$$

$$T_y = \min(0,85; 0,707) \implies T_y = 0,707 \text{ s}$$

6. période caractéristique associée à la catégorie de site pour un sol meuble

$$T_1 = 0,15\text{s} \quad T_2 = 0,50\text{s} \dots\dots\dots \text{(tableau 4.7.RPA99)}.$$

7. facteur de correction d'amortissement donné par la formule

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} = 0,8819 \geq 0,7$$

8. facteur d'amplification dynamique : Donné par la formule :

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

Sens x :
$$\eta \left(T_2 / 3 \right)^{2/3} \left(3/T \right)^{5/3} \quad T \geq 3\text{s}$$

$$T_2 < T_x < 3\text{s} \implies 0,50 < 0,61 < 3\text{s}$$

donc :
$$D_x = 2,5 \eta \left(T_2/T_x \right)^{2/3} = 1,53$$

Sens y :
$$T_2 < T_y < 3\text{s} \implies 0,50 < 0,707 < 3\text{s}$$

donc :
$$D_y = 2,5 \eta \left(T_2/T_y \right)^{2/3} = 1,39$$

V.3.3.3 La force sismique totale sera :

$$V_X = \frac{0,15 \times 1,53 \times 1,15}{3,5} \times 41667,90 = 3142,06 \text{ KN}$$

$$V_Y = \frac{0,15 \times 1,39 \times 1,20}{3,5} \times 41667,90 = 2978,66 \text{ KN}$$

V.3.3.4 Distribution verticale de la force sismique :

La résultante des forces sismiques à la base V doit être distribuée sur la hauteur de la structure selon les formules suivantes :

$$V = F_t + \sum F_i \dots\dots\dots\text{chapitre 4-2-5 RPA}$$

F_t : la force contenue au somme de la structure permet de tenir compte du mode supérieur de vibration:

$$\begin{cases} F_t = 0,07 \cdot T \leq 0,25V \\ F_t = 0 \text{ si } T > 0,7s \end{cases}$$

Dans notre cas :

$$\begin{cases} T_x \leq 0,7s \\ T_y > 0,7s \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_{tx} = 0 \\ F_{ty} = 0,07 V_y T_y \leq 0,25V_y \end{cases}$$

$$F_{ty} = 0,07 \times 0,707 \times 2978,66 = 148,04 \text{ KN} \leq 0,25 \times 3642,96 = 744,665 \text{ KN}$$

$$F_i = \frac{(V - F_t) W_i h_i}{\sum_j^n W_j h_j} \dots\dots\dots\text{chapitre 4-2-5 RPA}$$

F_i : effort horizontal revenant au niveau i h_i : le niveau ou s'exerce la force F_i

W_i W_j : poids revenant aux planchers i, j . h_j : niveau d'un plancher quel conque

Tableau V.2 **effort tranchant :**

Etage	W _i (KN)	h _i (m)	W _i ×h _i	F _{ix} (KN)	F _{iy} (KN)	V _x - F _{tx} (KN)	V _y - F _{ty} (KN)
Terrasse	3725,14	34,17	127288,034	517,474695	367,973922	3142,06	2234.305
09	3581,59	31,11	111423,265	452,978323	322,110842	3142,06	2234.305
08	3679,13	28,05	103199,597	419,545885	298,337237	3142,06	2234.305
07	3679,13	24,99	91941,4587	373,777243	265,791356	3142,06	2234.305
06	3679,13	21,93	80683,3209	328,008601	233,245476	3142,06	2234.305
05	3789,67	18,87	71511,0729	290,7199	206,729644	3142,06	2234.305
04	3789,67	15,81	59914,6827	243,576132	173,205918	3142,06	2234.305
03	3789,67	12,75	48318,2925	196,432365	139,682192	3142,06	2234.305
02	3913,22	9,69	37919,1018	154,155672	109,619421	3142,06	2234.305
01	3913,22	6,63	25944,6486	105,474933	75,002762	3142,06	2234.305
R.D.C	4128,31	3,57	14738,0667	59,9158858	42,6059233	3142,06	2234.305
Σ	41667,90		772881,54				

V.4 Vérification des déplacements

Selon la RPA99v2003, les déplacements relatifs d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents ne doivent pas dépasser 1% de la hauteur d'étage :

$$R \cdot \Delta_K < 0.01 \cdot h_e$$

Avec :

Δ_K : Le déplacement relatif au niveau "K" par rapport au niveau "k-1" avec :

$$\Delta_K = \delta_K - \delta_{K-1}$$

R : Coefficient de comportement $R = 3,5$

h_e : hauteur de l'étage

δ_K : déplacement horizontale à chaque niveau K.

δ_{ek} : déplacement du aux forces sismiques F_i (y compris l'effet de torsion). D'après les résultats donnés par le ETABS.

Les déplacements relatifs des nœuds maîtres de chaque niveau sont résumés dans le tableau suivant :

niveau	δ_{ek} max (cm)		$\Delta k_{MAX} \times R$ (cm)		0.01h _e (m)	RPA
	δx	Δy	Δx	Δy		

10	0,0511	0,049	0,17885	0,1715	3.06	C.V
9	0,0526	0,0506	0,1841	0,1771	3.06	C.V
8	0,0537	0,0515	0,18795	0,18025	3.06	C.V
7	0,0542	0,0519	0,1897	0,18165	3.06	C.V
6	0,0536	0,0511	0,1876	0,17885	3.06	C.V
5	0,0515	0,049	0,18025	0,1715	3.06	C.V
4	0,0481	0,0457	0,16835	0,15995	3.06	C.V
3	0,0427	0,0405	0,14945	0,14175	3.06	C.V
2	0,0353	0,0336	0,12355	0,1176	3.06	C.V
1	0,026	0,025	0,091	0,0875	3.06	C.V
RDC	0,0121	0,0121	0,04235	0,04235	3.57	C.V

Tableau V.3 vérification des déplacements

V.4.1 Vérification des modes ;

Mode	Participation de Mass. UX (%)	Participation de Mass. UY (%)	Observation
1	66,9172	0,3828	
2	67,1967	67,119	
3	68,0976	68,1808	
4	86,4045	68,1911	
5	86,4055	87,1208	
6	86,4647	87,2308	
7	93,2735	87,2309	
8	93,2739	93,7568	vérifie

Tableau V.4 Vérification des modes

V.5 Justification vis à vis de l'effet $P\Delta$

L'excentricité des charges verticales résultant des déplacements relatifs des Étages provoque dans les murs et les poteaux des efforts axiaux additionnelle. Ce Phénomène est appelé « effet $P\Delta$ ».

D'après l'article du RPA (5.9)

Les effets du 2^o ordre (ou effet $P\Delta$.) Peuvent Être négligés dans le cas des bâtiments

Si la condition suivante est satisfaite à tous Les niveaux :

$$\theta = P_k \cdot \Delta k / V_k \cdot h_k < 0,10$$

P_k : poids total de la structure et des charges

D'exploitation associées au dessus du niveau « k »

V_k : effort tranchant d'étage au niveau "k"

Δk : déplacement relatif du niveau « k » par rapport au

Niveau «k-1»

h_k : hauteur de l'étage « k »

Pour le sens X

Niveau	Wi (KN)	V	Hi(cm)	$\Delta k \times R$	θ
10	3725,14	480,05	306	0,17885	0,00453548
9	3581,59	844,2	306	0,1841	0,00255248
8	3679,13	1126,99	306	0,18795	0,00200515
7	3679,13	1369,55	306	0,1897	0,00166538
6	3679,13	1585,29	306	0,1876	0,00142281
5	3789,67	1770,37	306	0,18025	0,00126093
4	3789,67	1920,22	306	0,16835	0,00108578
3	3789,67	2042,13	306	0,14945	0,00090634
2	3913,22	2146,91	306	0,12355	0,00073594
1	3913,22	2226,45	306	0,091	0,00052269
RDC	4128,31	2265,63	357	0,04235	0,00021616

Tableau V.5 Justification vis à vis de l'effet $P\Delta$ sens x

Pour le sens y :

Niveau	Wi (Kn)	V	Hi(cm)	$\Delta k \times R$	θ
--------	---------	---	--------	---------------------	----------

10	3725,14	518,9	306	0,1715	0,00402348
9	3581,59	923,09	306	0,1771	0,00224558
8	3679,13	1240,59	306	0,18025	0,00174691
7	3679,13	1510,09	306	0,18165	0,00144629
6	3679,13	1746,99	306	0,17885	0,0012309
5	3789,67	1950,98	306	0,1715	0,00108866
4	3789,67	2117,73	306	0,15995	0,00093539
3	3789,67	2252,68	306	0,14175	0,0007793
2	3913,22	2366,62	306	0,1176	0,00063546
1	3913,22	2452,65	306	0,0875	0,00045623
RDC	4128,31	3520,34	357	0,56	0,00402348

Tableau V.6 Justification vis à vis de l'effet $P\Delta$ sens y

V.6.L'efforts tranchant à la base

La résultante des forces à la base 'F' obtenue par combinaison des valeurs Modales ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante des forces sismiques Déterminées par la méthode statique équivalente 'V (RPA99 ; 2003 Article. 4.3.6)

Sens	V (spec) (kn)	V (stat.eq)	80%V stat.eq	$0.8V_{stat} \leq V_{(spec)}$
X	3056,24	3142,06	2513,648	Oui
Y	2495,71	2978,66	2382,928	Oui

Tableau V.7 vérification L'efforts tranchant à la base