

# Chapitre 08 : Etude sismique

## 8.1 Généralité :

Dans notre calcul on a utilisé les règles parasismiques algériennes (RPA 99), on va voir un petit aperçu sur ces règles.

## 8.2 Objectifs :

Les présentes règles visent à assurer une protection acceptable des vies humaines et des constructions vis-à-vis des effets des actions sismiques par une conception et un dimensionnement appropriés.

- Pour des ouvrages courants, les objectifs ainsi visés consistent à doter la structure :
- D'une rigidité et d'une résistance suffisante pour limiter les dommages non structuraux et éviter les dommages structuraux par un comportement essentiellement élastique de la structure face à un séisme modère, relativement fréquent.
- D'une ductilité et d'une capacité de dissipation d'énergie adéquates pour permettre à la structure de subir des déplacements inélastiques avec des dommages limités et sans effondrement ni perte de stabilité, face à un séisme majeur, plus rare.

Pour certains ouvrages importants, la protection visée est encore plus sévère puisqu'il faudra que l'ouvrage puisse demeurer opérationnel immédiatement après un séisme majeur.

## 8.3 Domaine d'application :

Les présentes règles sont applicables à toutes les constructions courantes par contre elles ne sont pas directement applicables à la construction telles que :

- Construction et installations pour lesquelles les conséquences d'un dommage même léger peuvent être d'une exceptionnelle gravité : centrales nucléaires, installation de fabrication et de stockage des produits inflammables, explosifs, toxiques ou polluants.
- Ouvrage d'art (barrages, ouvrages maritimes, ponts, tunnels ... etc.)
- Réseaux et ouvrages enterrés.

Pour ces types de construction, il y a lieu de se référer à des règles ou recommandations spécifiques.

Par ailleurs les dispositions du présent règlement ne s'appliquent pas en zone de sismicité négligeable de la classification des zones sismiques.

## Chapitre 08 : Etude sismique

### 8.4 Condition d'application :

Les constructions aux quelles s'appliquent les présentes règles doivent satisfaire concomitamment aux règles de conception, de calcul et d'exécution applicables.

Par ailleurs, au cas les sollicitations issues d'un calcul aux effets du vent sont plus défavorables, ce sont ces dernières qu'il y a lieu de prendre en considération pour la vérification de la résistance et de la stabilité de l'ouvrage, mais en même temps les dispositions constructive des règles RPA doivent être respectées.

L'application rationnelle est efficace des présents règles suppose une coopération et une coordination étroite entre les différents intervenant a chaque stade de la conception et de la réalisation du projet.

### 8.5 Choix de la méthode de calcul :

#### 8.5.1 Méthode utilisable :

Le calcul des forces sismiques peut être mené suivant les trois méthodes :

1/ La méthode statique équivalente.

2/ La méthode d'analyse modale spectrale.

3/ La méthode d'analyse dynamique par accélerogrammes.

Pour notre construction on va utiliser la méthode statique équivalente qui est applicable dans notre étude vis-à-vis des efforts sismiques vue l'aspect architectural de notre structure tous les efforts de chargement sont axiales et symétriques l'effet verticale due au séisme et négligeable.

Donc notre structure n'est sollicitée que par l'effort sismique horizontal «  $V$  » appliqué au CG de la structure.

### 8.6 Calcul de la force sismique total :

Dans notre cas l'effort sismique «  $V$  » sera calculée dans une seule direction vue la section de notre ouvrage.

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

## Chapitre 08 : Etude sismique

### 8.7 Détermination des coefficients sismiques :

**A** : coefficient d'accélération de zone

**Tableau 8.1** les coefficients d'accélération.

	<b>Zone</b>		
<b>Groupe</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>1A</b>	0,12	0,25	0,35
<b>1B</b>	0,10	0,20	0,30
<b>2</b>	0,08	0,15	0,25
<b>3</b>	0,05	0,10	0,15

Groupe d'usage 1B} A=0,30

Zone III

**D** : facteur d'amplification dynamique moyen

Il sera pris en fonction de la catégorie du facteur de correction d'amortissement ( $\eta$ ) et de la période fondamentale de la structure.

D= !! En a 3 cas :

$$D = \begin{cases} 2,5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3,01 \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3}{T}\right)^{\frac{5}{3}} & T \geq 3,01 \end{cases}$$

**$\eta$**  : facteur de correction d'amortissement donnée par la formule  $\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}} \geq 0,7$

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

## Chapitre 08 : Etude sismique

**Tableau 8.2** le pourcentage d'amortissement

Remplissage	Portique		Voiles ou mur
	Béton armé	acier	Béton armé/maçonnerie
Léger	6	4	10
Dense	7	5	

Dans notre cas  $\xi = 10\%$

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+10}} = 0,76$$

$T_2$  = période caractéristique associé a la catégorie du site et donné par le tableau ci dessous :

**Tableau 8.3** la période caractéristique en fonction de la catégorie de site.

Site	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
T <sub>1</sub> (sec)	0,15	0,15	0,15	0,15
T <sub>2</sub> (sec)	0,30	0,40	0,50	0,70

Pour notre cas on a un sol fermé (S<sub>2</sub>) donc on aura  $T_2 = 0,40$  S

### 8.8 Calcul de D :

#### 1<sup>ère</sup> cas : cuve vide :

On a  $T_v = 0,35$  S

$$0 \leq T_v \leq T_2$$

$$D = 2,5\eta$$

$$D_v = 2,5 \cdot 0,76 \text{ alors } D_v = 1,9$$

#### 2<sup>ème</sup> cas : cuve pleine :

On a  $T_p = 0,28$  S

$$0 \leq T_p \leq T_2$$

## Chapitre 08 : Etude sismique

$$D=2,5\eta$$

$$D_p=1,9$$

**Q**= facteur de qualité de la structure est en fonction de :

- -la redondance et la géométrie des éléments qui la constituent.
- -la régularité en plan et en élévation.
- -la qualité du contrôle de la construction.

Q est déterminé par la formule :

$$Q=1+ \sum_1^6 P_Q$$

**P<sub>q</sub>** : est la pénalité à retenir selon le critère de qualité « q » est satisfait ou non il est donnée par le tableau ci dessous :

**Tableau 8.4** le critère de qualité « q »

Critère « q »	P <sub>q</sub>	
	observé	N/observé
1) condition minimale sur les files de contreventement	0	0,05
2) redondance en plan	0	0,05
3) régularité en élévation	0	0,05
4) régulation en plan	0	0,05
5) contrôle de la qualité des matériaux	0	0,05
6) contrôle de la qualité de l'exécution	0	0,10

$$\sum_1^6 P_p=0,05+0,05+0,05+0,05+0,10$$

$$\sum_1^6 P_p=0,30$$

$$Q=1+\sum_1^6 P_p$$

$$Q=1+0,30=1,30$$

## Chapitre 08 : Etude sismique

**R** : coefficient de comportement global de la structure, il est donné en fonction du système de contreventement, ce dernier sera donné par le tableau ci-dessous :

**Tableau 8.5** coefficient de comportement.

Cat	Description du système de contreventement	Valeur de R
<b>A</b>	Béton armé	
<b>1a</b>	Portique auto stable sans remplissage en maçonnerie rigide	5
<b>1b</b>	Portique auto stable avec remplissage en maçonnerie rigide	3,5
<b>2</b>	Voiles porteurs	3,5
<b>3</b>	Noyau	3,5
<b>4a</b>	Mixte portique/voiles avec interaction	5
<b>4b</b>	Portique contreventé par des voiles	4
<b>5</b>	Console verticale a masse repartie	2
<b>6</b>	pendule inverse	2

On prendra  $R=2$  (pendule inverse)

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

$W_{Gi}$  : poids due aux charges permanentes et celles des équipements fixés éventuels, solidaires de la structure.

$W_{Qi}$  : charges d'exploitation

$\beta$  : Coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation il est donné par le tableau ci-dessous :

## Chapitre 08 : Etude sismique

**Tableau 8.6** coefficient de pondération.

Cas	Type de structure	$\beta$
1	Entrepôts, hangars	0,50
2	Archives, bibliothèque, réservoir et ouvrage assimilés	1,00
3	Autre locaux non visés ci-dessous	0,60

$$\beta=1$$

$$W_i=W_{Gi}+W_{Qi}$$

$$1^{\text{ère}} \text{ cas : cuve vide : } W_v=986181,54$$

$$2^{\text{ème}} \text{ cas : cuve pleine : } W_p=6031181,54$$

### 8.9 Détermination de l'effort V :

**1<sup>ère</sup> cas : Cuve vide :**

$$V_v = \frac{A.Dv.Q}{R} \cdot W_v = \frac{0,30 \times 1,9 \times 1,30}{2} \cdot 986181,54$$

$$V_v=365380,26\text{kg}$$

**2<sup>ème</sup> cas : Cuve pleine :**

$$V_p = \frac{A.Dp.Q}{R} \cdot W_p = \frac{0,30 \times 1,9 \times 1,30}{2} \cdot 6031181,54$$

$$V_p=2234552,76\text{kg}$$

### 8.10 Distribution de la force sismique élévation :

Le schéma statique de notre structure est modélisé par une masse concentrique a l'extrémité d'une console (support encastré) donc la force sismique horizontale sera appliqué a son centre de masse soit son centre de gravité dans les deux cas vide et pleine.

- La loi de répartition du poids le long de la tour :

$$P(Z) = \pi \cdot (R_{ext}^2 - R_{int}^2) \cdot \rho_b$$

$$P(Z) = \pi \cdot (4,09^2 - 3,93^2) \cdot 2500$$

$$P(Z) = 10073,12 \text{ kg/ml}$$

- Distribution de la force sismique (le long de la tour)

## Chapitre 08 : Etude sismique

$$f(Z) = \frac{VP(Z).Z}{\int_0^4 P(Z).Z.dZ}$$

Avec :  $f(Z)$  : densité de la force sismique sur une cote  $Z$  (de la surface du sol).

$$F(G) = \int_0^4 f(Z).dZ \text{ (force appliqué au centre de gravité de la cuve).}$$

$$f(Z) = \frac{VP(Z).Z}{\int_0^4 P(Z).Z.dZ}$$

$$V = F(G) + \int_0^4 P(Z).dZ$$

### 8.11 Calcul des efforts tranchant et des moments fléchissant :

#### 8.11.1 Cuve pleine :

$$P_{\text{CUVE}} = 5875191,54 \text{ kg} \quad H_p = 21,40 \text{ m}$$

$$P_{\text{TOUR}} = 10073,12 \text{ kg} \quad V_p = 2234552,76 \text{ kg}$$

$$I = \int_0^H P(Z).Z.dZ = \int_0^H P_{\text{tour}} \times Z.dZ + P_{\text{cuve}} \times H_p$$

$$I = \int_0^H 10073,12.Z.dZ + 5875191,54 \times 21,40$$

$$I = \left[ 10073,12 \cdot \frac{Z^2}{2} \right] + 125729099$$

$$I = 10073,12 \cdot \frac{(15,15)^2}{2} + 125729099$$

$$I = 126885102,8 \text{ kg.m}$$

#### 8.11.1.1 Calcul de $f(Z)$ :

$$f(Z) = \frac{V.P(Z).Z}{I} = \frac{2234552,76 \times 10073,12 \times Z}{126885102,8}$$

$$f(Z) = 177,39 Z$$

$$\text{Pour } Z=15,15 \quad \text{alors } f(Z) = 2687,45 \text{ kg/ml}$$

#### 8.11.1.2 Calcul de $F(G)$ :

$$F(G) = \frac{V_p.P_{\text{cuve}}.Z_G}{I}$$

$$F(G) = \frac{2234552,76 \times 5875191,54 \times 21,40}{126885102,8}$$

## Chapitre 08 : Etude sismique

$$F(G) = 2214194,56 \text{ k}$$

### 8.11.1.3 Calcul de M(x) et T(x) pour l'espace du fut :

#### a) Calcul de R<sub>A</sub> :

$$\sum F_A = 0 \quad R_A - \frac{2687,45}{2} \times 15,15 - 2214194,56 = 0$$

$$R_A = \frac{2687,45}{2} \times 15,15 + 2214194,56$$

$$R_A = 2234551,99 \text{ kg}$$

#### b) Calcul de M<sub>A</sub> :

$$\sum M/A = 0 \quad -M_A + 2214194,56 \times 21,40 + 2687,45 \times \frac{15,15^2}{2} \times \frac{2}{3} = 0$$

$$M_A = 47383763,58 + 205610,08$$

$$M_A = 47589373,66 \text{ kg.m}$$

#### c) Calcul du moment fléchissant :

$$\sum M/C = 0 \quad R_A \cdot X - 177,39 \frac{X^2}{2} - \frac{1}{3} X - M_A + M_x = 0$$

$$M_x = -2234551,99X + 29,56 X^3 + 47589373,66$$

$$M_x = 29,56 X^3 - 2234551,99 X + 47589373,66$$

#### d) Calcul de l'effort tranchant

$$\text{On a : } T(X) = \frac{dM(x)}{dx}$$

$$T(x) = 88,68 x^2 - 2234551,99$$

### 8.11.2 Cuve vide :

$$P_{\text{CUVE}} = 830191,54 \text{ kg} \quad H_V = 21,61 \text{ m}$$

$$P_{\text{TOUR}} = 10073,12 \text{ kg} \quad V_V = 365380,26 \text{ kg}$$

$$I = \int_0^H P(Z) \cdot Z \cdot dZ = \int_0^H P_{\text{tour}} \cdot Z \cdot dZ + P_{\text{cuve}} \cdot H_V$$

$$I = \int_0^H 10073,12 \cdot Z \cdot dZ + 830191,54 \times 21,61$$

$$I = \left[ 10073,12 \cdot \frac{Z^2}{2} \right] + 17940439,18$$

## Chapitre 08 : Etude sismique

$$I=10073,12 \cdot \frac{(15,15)^2}{2} + 17940439,18$$

$$I= 19096443,02 \text{ kg.m}$$

### 8.11.2.1 Calcul de f(Z) :

$$f(Z)=\frac{V.P(Z).Z}{I} = \frac{365380,26 \times 10073,12 Z}{19096443,02}$$

$$f(Z)= 192,73 Z$$

$$\text{Pour } Z=15,15 \quad \text{alors } f(Z) = 2919,86 \text{ kg/ml}$$

### 8.11.2.2 Calcul de F(G) :

$$F(G) = \frac{V_p.P_{cuve}.ZG_v}{I}$$

$$F(G) = \frac{365380,26 \times 830191,54 \times 21,61}{19096443,02}$$

$$F(G) = 343261,95 \text{ kg}$$

### 8.11.2.3 Calcul de M(x) et T(x) pour l'espace du fut :

#### a) Calcul de R<sub>A</sub> :

$$\sum F_A=0 \quad R_A - \frac{2919,86}{2} \times 15,15 - 343261,95 = 0$$

$$R_A = \frac{2919,86}{2} \times 15,15 + 343261,95$$

$$R_A = 365379,88 \text{ kg}$$

#### b) Calcul de M<sub>A</sub> :

$$\sum M/A=0 \quad M_A - 343261,95 \times 21,61 - 2919,86 \times \frac{15,15^2}{2} \times \frac{2}{3} = 0$$

$$M_A = 343261,95 \times 21,61 + 223391,19$$

$$M_A = 7641281,93 \text{ kg.m}$$

#### c) Calcul de M(x) :

$$\sum M/C=0 \quad -R_A \cdot X - 192,73 \frac{X^2}{2} \cdot \frac{X}{3} + M_A - M_X = 0$$

$$M(x) = -365379,88X + 32,12 X^3 + 7641281,93$$

## Chapitre 08 : Etude sismique

**d) Calcul de T(x) :**

$$\text{On a } T(x) = \frac{dM(x)}{dx}$$

$$T(x) = 96,36 X^2 - 365379,88$$

Tableau enseigné des moments fléchissant et des efforts tranchant sous l'effet de séisme :

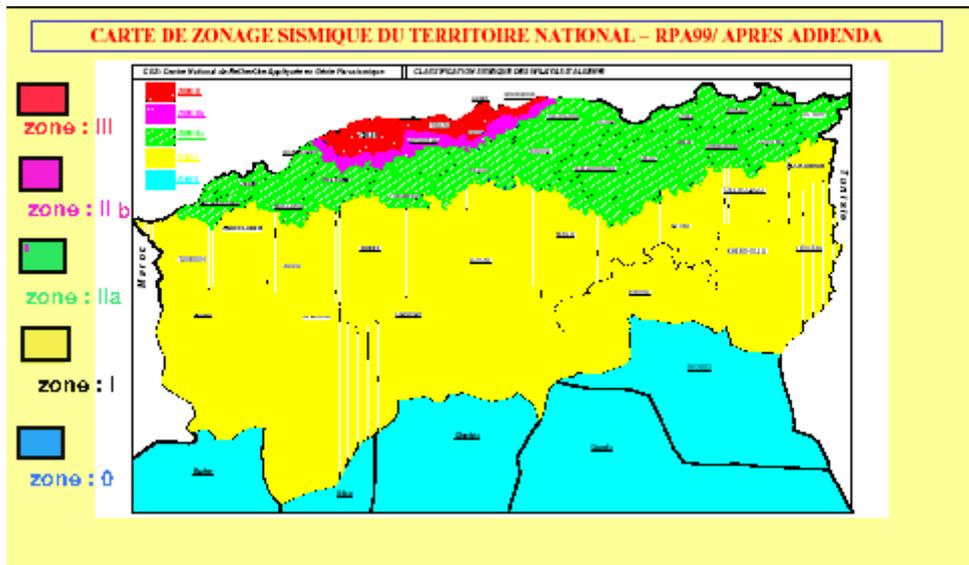
**Tableau 8.7** Expression de M(x) et T(x)

	Cuve vide	Cuve pleine
<b>M(x) (kg.m)</b>	$32,12X^3 - 365379,88X + 7641281,93$	$29,56X^3 - 2234551,99X + 47589373,66$
<b>T(x) (kg.m)</b>	$96,36X^2 - 365379,88$	$88,68X^2 - 2234551,99$

**Tableau 8.8** Calcul de M(x) et T(x) pour les différentes sections X ∈ [0. 15,15]

Cuve vide			Cuve pleine	
Z(m)	T(x) (kg)	M(x) (kg.m)	T(x) (kg)	M(x) (kg.m)
<b>15,15</b>	-343263,09	2217466,53	-2214197,93	13838698,99
<b>12,12</b>	-356094,63	3270062,95	-2221525,39	13788538,46
<b>9,09</b>	-357417,83	4344103,81	-2227224,53	27299498,27
<b>6,06</b>	-361841,19	5434228,003	-2231295,34	34054567,03
<b>3,03</b>	-364495,20	6535074,41	-2233737,83	4081950,43
<b>0,00</b>	-365379,88	7641281,93	-2234551,99	47589373,66

## Chapitre 08 : Etude sismique



**Figure 8.1** Carte de zonage sismique du territoire national RPA 99.



**Figure 8.2** les effets du séisme.