

-Généralités sur les séismes :

Le mot séisme vient du grec seismos qui signifie « secousse ». C'est une série de secousses du sol, plus ou moins violentes, soudaines, imprévisibles et localisées. On parle également de tremblement de terre. Les séismes mettent en évidence l'activité interne de la planète Terre. Souvent, un séisme se compose d'une ou de plusieurs secousses principales, brèves (quelques dizaines de secondes) suivies par d'autres secousses (répliques) au cours des heures et jours suivants.

La terre n'est pas un astre mort mais une planète vivante : les séismes et les éruptions volcaniques sont l'expression de l'instabilité de l'écorce terrestre.

Un séisme, ou tremblement de terre, est provoqué par un brusque déplacement de matière en profondeur (foyer du séisme), il se produit lors d'un relâchement brutal des tensions (de part et d'autre d'une faille, par exemple) à l'intérieur de la croûte terrestre ; la rupture qui s'ensuit provoque des vibrations, légères ou fortes, de la surface du sol. Le foyer du séisme est le point initial de la rupture. Immédiatement au-dessus, l'épicentre est le lieu d'intensité maximale du choc en surface, les destructions sont les plus importantes : éboulements, ouverture de larges fissures dans le sol, effondrements de bâtiments.

Ces ondes de choc se propagent en cercles concentriques à partir du foyer et de l'épicentre, diminuant d'intensité à mesure qu'elles s'en éloignent.

La principale cause des tremblements de terre est liée à la tectonique des plaques et aux contraintes engendrées par les mouvements d'une douzaine de plaques majeures et mineures qui constituent la croûte terrestre. La plupart des séismes tectoniques se produisent aux limites des plaques, dans les zones où une plaque glisse le long d'une autre

Il est difficile de les prévoir mais on peut diminuer les risques humains en évitant de construire dans les régions réputées dangereuses. Des règles de construction ont été mises au point, préconisant l'usage de matériaux dotés d'une certaine élasticité : béton armé et acier. Cependant ces normes antisismiques ne sont pas adoptées partout (souvent pour des raisons économiques), d'où les récents séismes meurtriers, comme celui de Boumerdes le 21 mai 2003.

V- Introduction :

Il est nécessaire d'étudier le comportement ou bien la réponse de la structure sous l'action sismique pour garantir un degré de protection acceptable à la construction en cas de séisme ou tremblement de terre, et éviter au maximum les dégâts qui pourraient être provoqués par ce phénomène.

Calculs sismiques : c'est le calcul de la réponse sismique et la répartition des efforts dans les différents éléments de la structure

On distingue essentiellement deux méthodes d'analyse:

- **Analyse statique équivalente** : Pour les bâtiments réguliers et moyennement réguliers, on peut simplifier les calculs en ne considérant que le premier mode de la structure (mode fondamental). Le calcul statique a pour but de se substituer au calcul dynamique plus compliqué en ne s'intéressant qu'à produire des effets identiques.
- **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. On utilise directement les spectres de dimensionnement puisque ce sont surtout les maxima 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.1-Méthode de calcul :

Pour l'évaluation des forces sismiques, on utilise le logiciel « **SAP2000 V14.00** » qui contient différentes méthodes de calcul sismique (Response Spectrum Function; Time History Function...)

Pour notre cas, on a choisie « Response Spectrum Function » qui est basée sur la méthode dynamique modale spectrale qui prend en compte la réponse de la structure suivant les modes déterminés en se basant sur les hypothèses suivantes:

- Masse supposée concentrée au niveau des nœuds principaux (noeud 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%.

V.1.1-Evaluation des efforts sismiques :

Pour la détermination de la fonction du spectre de réponse on utilise le programme « spectre » qui permet de donner les valeurs du spectre de réponse en fonction des périodes.

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

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

Avec : $\frac{\delta_a}{g}$: Spectre de Réponse de calcul.

et :

A : Coefficient d'accélération de zone.

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

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

ξ : pourcentage d'amortissement critique

Q : Facteur de qualité.

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

-Sol meuble \Rightarrow site 3 donc $T_1 = 0,15$ sec et $T_2 = 0,5$ sec.

D'après le R.P.A 99 (version 2003) , on a :

-Zone sismique IIa } $\Rightarrow (A = 0,15)$
-Groupe d'usage 2 }

$\xi = 6\%$ - { -Portique en béton armé.
-Remplissage léger.

$$\eta = \sqrt{7/(2 + 6)} = 0,9354 \geq 0,7$$

R : Coefficient de comportement de la structure.

-Portique auto stable sans remplissage en maçonnerie rigide $R = 5$.

-Pour avoir la valeur de P_q tout dépend des six critères de Q.

-Critères :

1-Conditions minimales sur les files de contreventement.

2-redondance en plan.

3-régularité en élévation.

4-régularité en plan

5-contrôle de qualité de matériaux.

6-contrôle de qualité de l'exécution.

$$Q = 1 + \sum P_q = 1 + (0,00 + 0,00 + 0,05 + 0,00 + 0,00 + 0,10) = 1,15.$$

V.2- Calcul des masses de la structure :

La valeur w à prendre en compte est égale à la somme des poids w_i calculés à chaque niveau i de la structure

$$W = \sum W_i \text{ avec } W_i = G_i + \beta P_i$$

G_i : poids des charges permanentes et à celle des équipements fixes éventuellement solidaires de la structure.

P_i : charge d'exploitation.

β : Coefficient de pondération fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation

Pour notre projet $\beta = 0,2$

V.2.1-Détermination des poids (W_t) de la structure :

Prenons comme exemple :

Le niveau 1 (RDC) +2+3+4+5 (étage courante) :

La surface du plancher : $S = 176,79 \text{ m}^2$.

Poids de :

- Planches..... $G \times S = 5,21 \times 176,79 = 921,07 \text{ KN}$
- Poteaux $n \times b \times h \times \gamma_b \times h_t = 24 \times 0,3 \times 0,4 \times 25 \times 3 = 216 \text{ KN}$
- Les balcons $p = G \times S = 4,5 \times 2 \times 1,2 \times 3,1 = 33,48 \text{ KN}$
- Poutre principale $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,3 \times 0,4 \times 25 \times 8,65 \times 8 = 207,6 \text{ KN}$.
- Poutre secondaire..... $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,5 \times 0,35 \times 25 \times 21,9 \times 3 = 172,46 \text{ KN}$.
- Les murs extérieurs..... $0,8 \times G_m \times (h_t) \times \sum L = 0,8 \times 2,38 \times 3 \times 54,3 = 368,8 \text{ KN}$
- Les escaliers $p = G \times S = 12,64 \times 12,82 = 162,04 \text{ KN}$.

$$\mathbf{G = 2081,45 \text{ KN}}$$

La surcharge : $p = Q \times S_t$ (S_t : la surface totale du plancher)

$$p = 1,5 \times 176,79 = \mathbf{265,18 \text{ KN}}$$

Le poids $W_t = G + \beta P = 2081,45 + 0,2 \times 265,18$

$\mathbf{W_{1,2,3,4,5} = 2134,84 \text{ KN}}$

Le niveau 6 (plancher terrasse):

La surface du plancher : $S=189,43 \text{ m}^2$.

Poids de :

- Planches $G \times S = 6,28 \times 189,43 = 1189,62 \text{ KN}$
- Poteaux $n \times b \times h \times \gamma_b \times ht = 24 \times 0,3 \times 0,4 \times 25 \times 3 = 216 \text{ KN}$
- Les balcons $p = G \times S = 4,5 \times 2 \times 1,2 \times 3,1 = 33,48 \text{ KN}$
- Poutre principale $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,3 \times 0,4 \times 25 \times 8,65 \times 8 = 207,6 \text{ KN}$.
- Poutre secondaire..... $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,5 \times 0,35 \times 25 \times 21,9 \times 3 = 172,46 \text{ KN}$
- Les murs extérieurs..... $0,8 \times G_m \times (h_t/2) \times \sum L = 0,8 \times 2,38 \times 3/2 \times 54,3 = 184,4 \text{ KN}$
- Acrotère..... $Q \times \sum L = 1,72 \times 63,50 = 109,22 \text{ KN}$

G=2112,78KN

La surcharge : $p=Q \times St$ (St : la surface totale du plancher)

$p=1 \times 189,43 = 189,43 \text{ kn}$

Le poids $W_t=G+ \beta P = 1692,21 + 0,2 \times 189,43$

$W_6=2150,58 \text{ KN}$

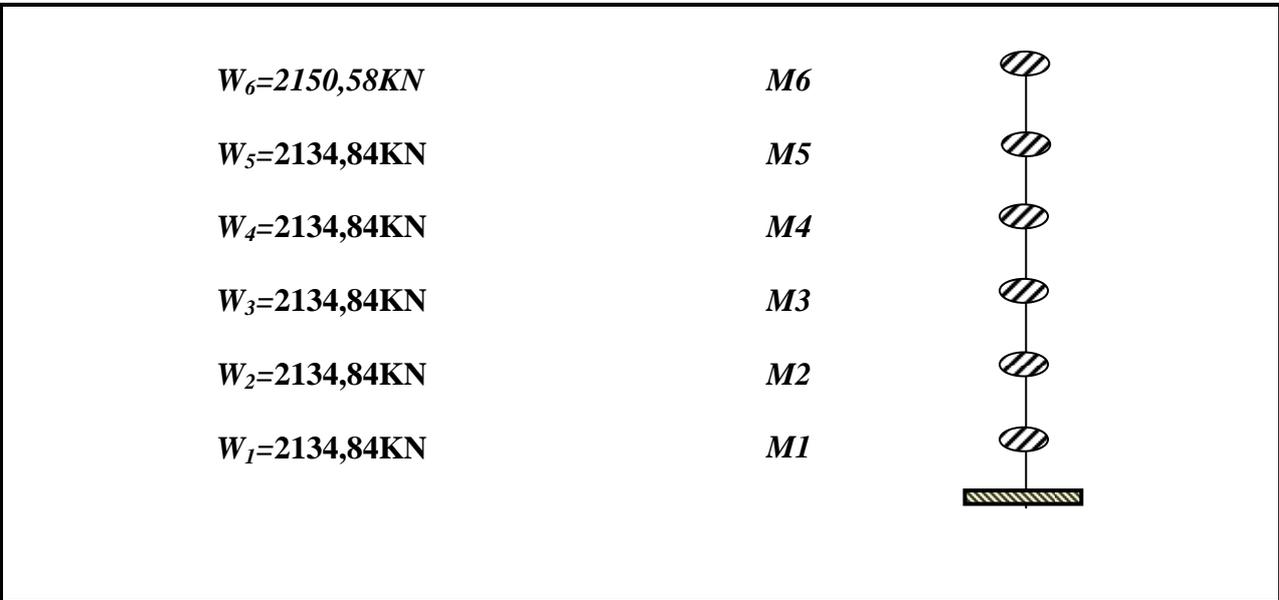


Figure V.1-les poids des étages :

V.2.3-Définition des masses:

On définit chaque masse ou moment d'inertie massique affectée aux nœuds de chaque niveau

$$D'où: I_M = \frac{M}{S} (I_{xg} + I_{yg})$$

I_M : inertie massique (t.m²)

M:masse sismique qui égale au rapport W/g

W, le poids de chaque niveau i

g, l'accélération de pesanteur 9,81

S : surface du plancher

I_{xg} : inertie du plancher suivant l'axe X

I_{yg} : inertie du plancher suivant l'axe Y

x_g et y_g : coordonnées du centre de gravité

X_G et Y_G : coordonnées de l'excentricité fictive
de 5% de la longueur max

$$\begin{cases} X_G = x_g + 0,05L_{\max} \\ Y_G = y_g + 0,05L_{\max} \end{cases}$$

$$I_{xg} = bh^3/12 = 1181,16m^4 ; I_{yg} = hb^3/12 = 7571,24 m^4$$

$$I_{M1, 2, 3, 4, 5} = (M_{1, 2, 3, 4, 5}/Sg)(I_{xg} + I_{yg}) = 10773,72 \text{ KN/m}^2$$

$$I_{M6} = (M_6/Sg)(I_{xg} + I_{yg}) = 10128,96 \text{ KN/m}^2$$

V.3-Les exigences du règlement parasismique Algérienne RPA(99v2003) :

Le règlement parasismique Algérienne exige que :

1-Nombre de modes à considérer soit de :

a) Pour les structures représentées par des modèles plans dans deux directions orthogonales, le nombre de modes de vibration à retenir dans chacune des deux directions d'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.

- ou que tous les modes ayant une masse modale effective supérieure à 5% de la masse totale de la structure soient retenus pour la détermination de la réponse totale de la structure.

Le minimum de modes à retenir est de trois (03) dans chaque direction considérée.

b) Dans le cas où les conditions décrites ci-dessus ne peuvent pas être satisfaites à cause de l'influence importante des modes de torsion, le nombre minimal de modes (K) à retenir doit être tel que :

$$K \geq 3\sqrt{N} \text{ et } T_K \leq 0.20 \text{ sec}$$

où : N est le nombre de niveaux au-dessus du sol et T_K la période du mode K.

2-Résultante des forces sismiques de calcul

La résultante des forces sismiques à la base V_t obtenue par combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80 % de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente V pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule empirique appropriée.

Si $V_t < 0.80 V$, il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacements, moments,...) dans le rapport 0.8 V/V_t .

V.3- Calcul de l'effort tranchant pour la méthode statique équivalent :

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

D : facteur d'amplification dynamique moyen en fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (η) et de la période fondamentale de la structure.

$$D = \begin{cases} 2,5\eta & \text{Si } 0 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & \text{Si } T_2 \leq T \leq 3,0 \text{ sec} \\ 2,5\eta \left(\frac{T_2}{3,0} \right)^{2/3} \cdot \left(\frac{3,0}{T} \right)^{5/3} & \text{Si } T > 3,0 \text{ sec} \end{cases}$$

W : le poids total de la structure :

$$\text{Ou : } \begin{cases} A = 0,08 \\ Q = 1,15 \\ R = 5 \\ W = 12824,78 \text{ KN} \end{cases}$$

T_1, T_2 : période caractéristique associée à la catégorie du site.

-Sol ferme \Rightarrow site S2 donc $T_1 = 0,15$ sec et $T_2 = 0,4$ sec.

V.3.1- Estimation de la période fondamentale de la structure :

$$T = C_T \cdot h_n^{3/4} \quad \text{Ou : } \begin{cases} h_n = 18,60 \text{ m} \\ C_T = 0,075. \end{cases}$$

$$\text{Donc : } T = 0,075 \cdot (18,6)^{3/4} = 0,67 \text{ sec}$$

$$T_2 \leq T \leq 3,0 \text{ sec.}$$

$$\Rightarrow D = 2,5\eta \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} = 2,5 \cdot 0,9354 \cdot \left(\frac{0,4}{0,67} \right)^{2/3} = 1,33$$

$$\text{Donc : } V = \frac{A.D.Q}{R} . W = \frac{0,08 \cdot 1,33 \cdot 1,15}{5} \cdot 12824,78 = 313,84 \text{ KN}$$

Le logiciel CBS peut déterminer directement les valeurs des efforts tranchant à la basse

a- Sens longitudinal :

$$V_{dx} = 320,17 \text{ t} > 80\% V_{st} = 80\% \cdot 313,84 = 251,07 \text{ tKN} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

b- Sens transversal :

$$V_{dy} = 319,49 \text{ t} > 80\% V_{st} = 80\% \cdot 361,68 = 255,59 \text{ KN} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

- On doit vérifier aussi que la période dynamique $\{T_{dyn}\}$ ne doit pas être supérieur à la majoration de 30% de période statique fondamentale "T"

$$T_{dyn} = 0,9322 \text{ sec} < 30\% \cdot T = 1,3 \times 0,7526 = 0,9784 \text{ sec} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

V.3.2-Calcul des coefficients de participation modale :

On doit vérifiée que : $\sum \bar{\alpha}_i \geq 90 \%$

$$\text{Avec : } \bar{\alpha}_i = \frac{\left(\sum_{K=1}^n W_K \Phi_{Ki} \right)^2}{\sum_{K=1}^n W_K \Phi_{Ki}^2} \times \frac{1}{\sum_{K=1}^n W_K}$$

$$W = \sum W_K = 12824,78 \text{KN}$$

Le logiciel CBS peut déterminer directement les valeurs des coefficients de participation modale, les valeurs données sont :

a- sens longitudinal:

$$\Sigma \alpha_x = 92,19 \% > 90 \% \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

b- sens transversal:

$$\Sigma \alpha_y = 91,63 \% > 90\% \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$