

V. ETUDE SISMIQUE

V.1. Généralités sur les séismes :

Le mot séisme vient des grecs séismos 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.2. 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 et d'éviter au maximum les dégâts qui pourraient être provoqués par ce phénomène.

Pour cette étude deux méthodes s'imposent :

- méthode statique équivalente
- méthode dynamique

V.3. choix de la méthode de calcul : l'étude de comportement des structures vis-à-vis des actions sismiques est nécessaire car le risque de subir un séisme à tout moment n'est pas à écarter.

Suivant le RPA99/V2003, le calcul des forces sismiques peut être mené par deux méthodes.

V.3.1.Méthode statique équivalente:

C'est analyse statique d'une structure sous l'effet d'un système des forces statiques fictives dont les effets sont considérés équivalents à ceux de l'action sismique.

V.3.2Méthodes dynamiques:

Il est plus intéressant d'utiliser la méthode qui peut être basée sur l'utilisation d'accélérogramme ou sur un spectre de réponse adopté à l'activité sismique de la région où l'étude a été faite, et pour un sol donné.

Pour cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration le maximum des effets engendrés par ces forces.

Condition d'application: selon le RPA99/V2003, la méthode d'analyse modale peut être utilisée dans tous les cas et en particulier dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise.

Méthode dynamique directe :

Cette méthode est plus exacte, elle nécessite en plus, de la modélisation la plus idéale de la structure, une bonne assistance dans l'étape d'analyse, ce qui rend facile l'analyse complexe pour les constructions de grandes dimensions.

La création des logiciels effectuant ce type d'analyse a permis une économie de biens et de temps parus dans ces résolutions.

Dans notre étude on utilise le logiciel **ROBOT BAT**, il offre :

1-ligne de construction : Cette commande a pour but de tracer les axes des éléments structuraux (poteaux, poutre) ainsi le pourtour des voiles dans le repère spatial(x, y, z).

Structure —> ligne de construction

2-Barre :

Elle nous permet de dessiner les éléments barres (horizontaux et verticaux) des poutres et des poteaux respectivement.

Structure —> barre

3-profil:

Elle nous de définir les dimensions des sections transversales des élément de la structures de type barre.

4-plaque:

Elle permet de définir les dimension des section transversales des élément de la structure de type coque (planchers, balcons, voiles, paillasse, paliers...etc.).

Structure —> panneau

5-Appuis :

Cette option permet de définir le type d'appui à considérer (encastrement, articulation, appui élastique).

6-Charge :

Elle se divise en deux icônes :

- 1- la première pour définir le cas de chargement (permanente, exploitation, neige, vent...etc).
- 2- la deuxième pour définir la valeur de chaque cas de chargement.

7-Analyse :

Suivant ce logiciel, l'analyse comporte trois types à savoir :

7-1Analyse statique :

le but de cette analyse est de déterminer le poids de la structure tout en incluant les poids des éléments structuraux (poteaux, poutres, planchers, escaliers, etc).ainsi les caractéristique géométrique des planchers tels que : les centre de gravité les moments d'inertie, par rapport à l'axe (xx, yy) ainsi le moment d'inertie massique.

7-2Analyse dynamique :

a travers de la quelle, le logiciel effectue une analyse sismique et ce pour déterminer les forces sismique sur la structure.

7-3Analyse globale:

a pour but de calculer les efforts généraux suivant chaque cas de chargement d'une part et suivant chaque combinaison déclarée d'autre part ainsi les réaction d'appuis.

VI-5 Conclusion : A la fin des calculs, le **ROBOT** fourni les résultats comme suite :

1-sous forme des efforts ($F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$) qui peuvent être tirés à partir du :

Sélectionner l'objet → résultat → effort

2-Il nous offre la possibilité de calculer les ferraillements des éléments de la structure (poteaux, poutre, fondation...etc) et ce comme le suivant :

Analyse → dimensionnement BA	{	Dimensionnement poutre BA Dimensionnement poteaux BA Dimensionnement semelles BA Dimensionnement longrine BA
-------------------------------------	---	---

-Après le choix de l'élément, on introduit les types d'armatures (transversales, longitudinales) à utiliser les caractéristiques du béton...etc

V.4.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 (quand 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 }

$$\xi = 7\% - \begin{cases} \text{-Portique en béton armé.} \\ \text{-Remplissage dense.} \end{cases}$$

$$\eta = \sqrt{7/(2 + 7)} = 0,882 \geq 0,7$$

R : Coefficient de comportement de la structure.

-Portique auto stable avec remplissage en maçonnerie rigide $R = 3,5$.

-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.

$$Q = 1 + \sum P_q = 1,25.$$

V.5. 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 du aux charges permanente et à celle des équipements fixés éventuelles 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.5.1-Détermination des poids (Wt) de la structure :

Prenons comme exemple :

- **Le niveau terrasse :**

La surface du plancher : $S = 332,04 \text{ m}^2$.

Poids de :

- plancher $G \times S = 0,66.332,04 = 219,15 \text{ t}$
- Poteaux $n \times b \times h \times \gamma_b \times ht/2 = 36.0,4^2.2,5.1,53 = 22,03 \text{ t}$
- poutre principale $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,3.0,45.2,5.(10,2.2+17,3.6) = 41,92 \text{ t}$
- poutre secondaire..... $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,3.0,4.2,5.(24,2.3+6.4) = 28,98 \text{ t}$.
- les murs extérieurs..... $0,8 \times G_m \times (ht/2) \times \sum L = 0,8.0,271.1,53.2,5.64 = 53,07 \text{ t}$.
- les murs voile..... $e_p \times h \times \gamma_b \times \sum L = 14,6.0,15.2,5.1,53 + [(10,8.1,53) - 0,72].2,5.0,15 = 14,30 \text{ t}$
- l'acrotère..... $G. \sum L = 0,1725.83 = 14,32 \text{ t}$

G = 393,77 t

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

P = 332,04.0,1 = 33,204 t

Le poids $W_t = G + \beta P = 393,77 + 0,2 \times 33,204$

Wt = 400,41 t

• **Le niveau 5:**

- plancher $G \times S = 0,509.286,59 = 145,87 \text{ t}$
- Poteaux $n \times b \times h \times \gamma_b \times ht = 36.0,4^2.2,5.3,06 = 44,06 \text{ t}$
- poutre principale..... $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,3.0,45.2,5(42,6+41,2+30,3+7,6)$
 $= 41,07 \text{ t}$
- poutre secondaire..... $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,3.0,4.2,5.(24,2.3+6.4) = 28,98 \text{ t.}$
- les murs extérieurs..... $0,8 \times G_m \times (h_t/2) \times \sum L = 0,8 \times 0,271.3,06.2,5.64 = 106,15 \text{ t.}$
- les murs voile..... $14,6.3,06.2,5.0,15 + [(10,8.3,06) - 1,44].2,5.0,15 = 28,61 \text{ t}$
- les escaliers $1,08 + 0,705 = 1,79 \text{ t.}$
- la dalle pleine $= 0,629.21,35 = 13,43 \text{ t}$
- les balcons..... $0,534.4,03.4 = 8,61 \text{ t.}$
- poutre noyée..... $14.0,2^2.2,5 = 1,40 \text{ t}$

G = 419,97 t

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

P = 0,15 x 286,59 = 42,99 t

Le poids : $Wt=G+ \beta P = 419,97 + 0,2 \times 42,99$

Wt = 428,57 t

• **Le niveau 4:**

- plancher $G \times S = 0,509.286,59 = 145,87 \text{ t.}$
- Poteaux $n \times b \times h \times \gamma_b \times ht = 36.0,4^2.2,5.3,06 = 44,06 \text{ t}$
- poutre principale..... $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,3.0,45.2,5(42,6+41,2+30,3+7,6)$
 $= 41,07 \text{ t}$
- poutre secondaire..... $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 0,3.0,4.2,5.(24,2.3+6.4) = 28,98 \text{ t.}$
- les murs extérieurs..... $0,8 \times G_m \times (h_t/2) \times \sum L = 0,8 \times 0,271.3,06.2,5.64 = 106,15 \text{ t.}$
- les murs voile..... $14,6.3,06.2,5.0,15 + [(10,8.3,06) - 1,44].2,5.0,15 = 28,61 \text{ t}$
- les escaliers $= 1,41 + 2,15 = 3,56 \text{ t.}$
- la dalle pleine $= 13,43 \text{ t.}$

- les balcons.....0,534.4,03 = 8,61 t.
- poutre noyée.....14.0,2².2,5 = 1,40 t

$$\underline{\underline{G = 421,74 \text{ t}}}$$

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

$$P = 0,15 \times 286,59 = \mathbf{42,99 \text{ t}}$$

Le poids $W_t=G+ \beta P = 421,74 + 0,2 \times 42,99$

$$\mathbf{W_t = 430,34 \text{ t}}$$

• **Le niveau 3-2:**

- plancherG x S = 0,509.286,59 = 145,87 t
- Poteauxn x b x h x γ_b x ht = 36.0,45².2,5.3,06 = 55,77 t
- poutre principale.....b x h x γ_b x $\sum L = 0,3.0,45.2,5(42,6+41,2+30,3+7,6)$
= 41,07 t
- poutre secondaire..... b x h x γ_b x $\sum L = 0,3.0,4.2,5.(24,2.3+6.4) = 28,98 \text{ t.}$
- les murs extérieurs.....0,8xG_mx(h_t/2) x $\sum L=0,8 \times 0,271.3,06.2,5.64 = 106,15 \text{ t.}$
- les murs voile..... 14,6.3,06.2,5.0,15+[(10,8.3,06)-1,44].2,5.0,15 = 28,61 t
- les escaliers1,41 + 2,15 = 1,79 t.
- la dalle pleine = 13,43 t.
- les balcons.....0,534.4,03 = 8,61 t.
- poutre noyée.....14.0,2².2,5 = 1,40 t

$$\underline{\underline{G = 431,68 \text{ t}}}$$

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

$$P = 0,15 \times 286,59 = \mathbf{42,99 \text{ t}}$$

Le poids $W_t=G+ \beta P = 431,68 + 0,2 \times 42,99$

$$\mathbf{W_t = 440,28 \text{ t}}$$

• **Le niveau 1:**

- plancherG x S = 0,509.286,59 = 145,87 t
- Poteauxn x b x h x γ_b x ht = 36.0,45².2,5.4,59 = 83,65 t
- poutre principale.....b x h x γ_b x $\sum L$ = 0,3.0,45.2,5(42,6+41,2+30,3+7,6)
= 41,07 t
- poutre secondaire..... b x h x γ_b x $\sum L$ = 0,3.0,4.2,5.(24,2.3+6.4) = 28,98 t.
- les murs extérieurs.....0,8xG_mx(h_t/2) x $\sum L$ =0,8x0,271.4,59.2,5.64 = 159,22 t.
- les murs voile..... 14,6.4,59.2,5.0,15+[(10,8.4,59)-1,44].2,5.0,15 = 43,18 t
- les escaliers3,56 + 1,79 = 5,35 t.
- la dalle pleine = 13,43 t.
- poutre noyée.....14.0,2².2,5 = 1,40 t

$$G = 522,15 t$$

La surcharge : p=Q x St (St : la surface totale du plancher)

$$P = 0,15 \times 286,59 = 42,99 t$$

Le poids W_t=G+ β P = 522,15 + 0,2 x 42,99

$$W_t = 530,75 t$$

V.5.2- Calcul de l'effort tranchant par 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 :

$$\text{Ou : } \begin{cases} A = 0,15 \\ Q = 1,25 \\ R = 3,5 \\ W = 4470,30 \end{cases}$$

T₁, T₂ : période caractéristique associée à la catégorie du site.

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

V.5.3- Estimation de la période fondamentale de la structure :

$$T = C_T \cdot h_n^{3/4} \quad \text{Ou : } \begin{cases} h_n = 26,33\text{m} \\ C_T = 0,050. \end{cases}$$

Donc : $T = 0,050 \cdot (19,30)^{3/4} = 0,46$ sec

$T = 1,3 \cdot 0,46 = 0,59$ sec.

$T_{RPA} = 0,59$ sec $>$ $T_{dyn} = 0,58$ sec. Condition vérifier

$T_2 \leq T \leq 3,0$ sec.

$$\Rightarrow D = 2,5 \eta_1 \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} = 2,5 \cdot 0,88 \left(\frac{0,5}{0,58} \right)^{2/3} = 1,99$$

Donc :

$$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} \cdot W = \frac{0,15 \cdot 1,99 \cdot 1,25}{3,5} \times 2230,35 = 237,77$$
 t

On doit vérifier que la résultante des forces sismiques à la base « V_r » obtenue par combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80% de la résultant des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente.

➤ **Sens longitudinal :**

$V_{dx} = 415,59$ t $>$ $80\% V_{st} = 80\% \cdot 237,77 = 190,22$ tcondition vérifiée.

➤ **Sens transversal :**

$V_{dy} = 464,10$ t $>$ $80\% V_{st} = 80\% \cdot 237,77 = 190,22$ tcondition vérifiée.

V.6.-Calcul des déplacements :

Sous l'action des forces horizontales ; la structure subira des déformations horizontales.

Pour éviter l'augmentation des contraintes dans les systèmes de contreventement, les déplacements doivent être calculés pour chaque élément de contreventement, les déplacements relatifs latéraux d'un étages par rapport aux étages qui lui sont adjacents ne doivent pas dépasser 1,0% de la hauteur de l'étage.

$$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1} \leq \bar{\delta}_k \quad \text{avec } \delta_k = R \cdot \delta_{ek}$$

R : coefficient de comportement ; $R = 5$.

δ_{ek} : Déplacement du aux forces sismiques F_i (y compris l'effort de torsion).

Les deux tableaux suivants résumant les déplacements relatifs aux différents niveaux dans les deux sens longitudinal et transversal.

V.6.1.Suivant le sens x :

Niveaux	$\delta_{eK} (m)$	$\delta_K = R.\delta_{eK}$	$\Delta_K = \delta_K - \delta_{K-1}$	$\Delta_{r-ad} = 1\% \cdot h_e.$	Condition
6	0.018	0.063	0.0105	0.0306	C.V
5	0.015	0.0525	0.0105	0.0306	C.V
4	0.012	0.042	0.014	0.0306	C.V
3	0.008	0.028	0.0105	0.0306	C.V
2	0.005	0.0175	0.0105	0.0306	C.V
1	0.002	0.007	0.007	0.04	C.V

V.6.2.Suivant le sens y :

Niveaux	$\delta_{eK} (m)$	$\delta_K = R.\delta_{eK}$	$\Delta_K = \delta_K - \delta_{K-1}$	$\Delta_{r-ad} = 1\% \cdot h_e.$	Condition
6	0.009	0.0315	0.0035	0.0306	C.V
5	0.008	0.028	0.007	0.0306	C.V
4	0.006	0.021	0.007	0.0306	C.V
3	0.004	0.014	0.0035	0.0306	C.V
2	0.003	0.0105	0.007	0.0306	C.V
1	0.001	0.0035	0.0035	0.04	C.V