

ETUDE SISMIQUE

V.1 Introduction :

Un séisme ou un tremblement de terre se traduit en surface par des vibrations du sol. Il provient de la fracturation des roches en profondeur. Cette fracturation est due à une grande accumulation d'énergie qui se libère, en créant ou en faisant rejouer des failles, au moment où le seuil de rupture mécanique des roches est atteint.

La croûte terrestre est constituée de plusieurs grandes plaques qui évoluent les unes par rapport aux autres : certaines s'écartent, d'autres convergent, et d'autres coulissent. Environ

90% des séismes sont localisés au voisinage des limites de ces plaques.

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 qui implique de bien faire toute une étude pour essayer de mettre en exergue le comportement dynamique de l'ouvrage.

V.2 Choix de la méthode de calcul :

L'étude sismique a pour but de calculer les forces sismiques ; ces forces peuvent être déterminées par trois méthodes qui sont les suivantes :

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

V.2.1 Méthode statique équivalente :

V.2.1.1 Définition :

Cette méthode consiste à remplacer l'ensemble des forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction par un système de forces fictives dont les effets sont considérés équivalents à ceux de l'action sismique.

Cette méthode ne peut être dissociée de l'application rigoureuse des dispositions constructives garantissant à la structure :

- une ductilité suffisante ;
- une capacité de dissiper l'énergie vibratoire transmise à la structure par des secousses sismiques majeures.

.2.1.2 Conditions d'application de la méthode statique équivalente :

La méthode statique équivalente peut être utilisée dans les conditions suivantes :

Le bâtiment ou bloc étudié, satisfaisait aux conditions de régularité en plan et en élévation (chapitre III, paragraphe 3.5) avec une hauteur au plus égale à 65m en zones I et IIa et à 30m en zones IIb et III.

Le bâtiment ou bloc étudié présente une configuration irrégulière tout en respectant, outre les conditions de hauteur énoncées en a), 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 17 m.

groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10 m

Zone IIb et III : groupes d'usage 3 et 2, si hauteur est inférieure ou égale à 5 niveaux ou 17 m.

groupe d'usage 1B, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10 m.

groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 2 niveaux ou 08 m.

V.2.2 Les Méthodes Dynamiques :

V.2.2.1 La méthode 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.2.2.2 La méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes :

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. Notre structure ne répond pas aux conditions exigées par le RPA99/version2003 pour pouvoir utiliser la méthode statique équivalente, donc le calcul sismique se fera par **la méthode d'analyse modale spectrale**.

V.3 Classification de l'ouvrage selon les RPA99 / Version 2003

Notre ouvrage est implanté dans la wilaya d'Alger donc en zone III.

Notre bâtiment est à usage d'habitation collective donc classé dans le Groupe 2.

Selon le rapport géotechnique relatif à notre ouvrage, on est en présence d'un sol meuble de catégorie S3.

V.4 Méthode d'analyse modale spectrale :

V.4.1 Principe :

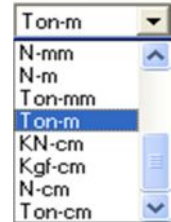
Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de Calcul. Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.

V.4.2 Description du logiciel sap:

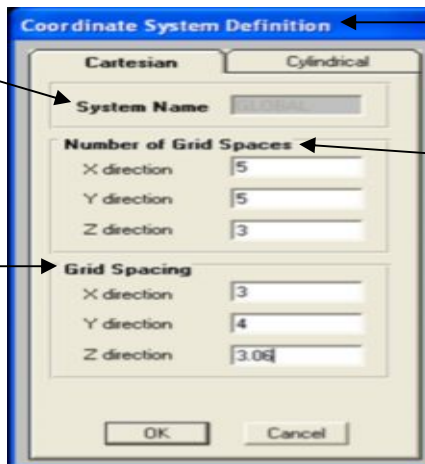
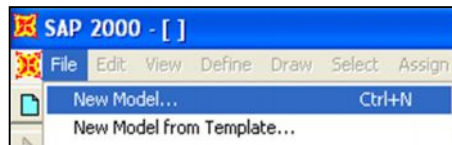
Le programme SAP2000 est un logiciel d'analyse statique et dynamique des structures basée sur la méthode des éléments finis, il offre les performances de technologie d'aujourd'hui, capacité de calcul et vitesse d'exécution.

Pour l'utilisation de ce programme on doit suivre les démarches suivantes :

Il y a lieu de choisir une unité avant d'entamer une session SAP2000, adoptant (t.m)



Menu file ➤ new model :



Nom de système par défaut globale

Définition des coordonnées de système

espacement des grilles suivant les axes globaux

il permet de spécifier les nombres d'espace (grille suivant les directions des axes globaux)

Menu file ➤ Draw ➤ Edit grid :

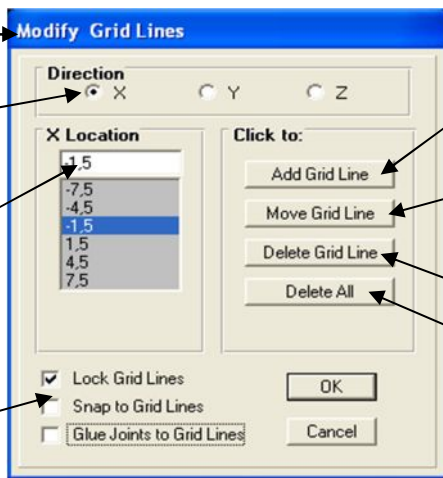
Une fenêtre apparaîtra pour modifier les axes (grid lines) :

Modifier les axes (grid lines)

Sélectionner « x »

Insérer les distances cumulées en commençant par « 0 »

Cliquer ici pour « model templates »



Ajouter le nombre « x »

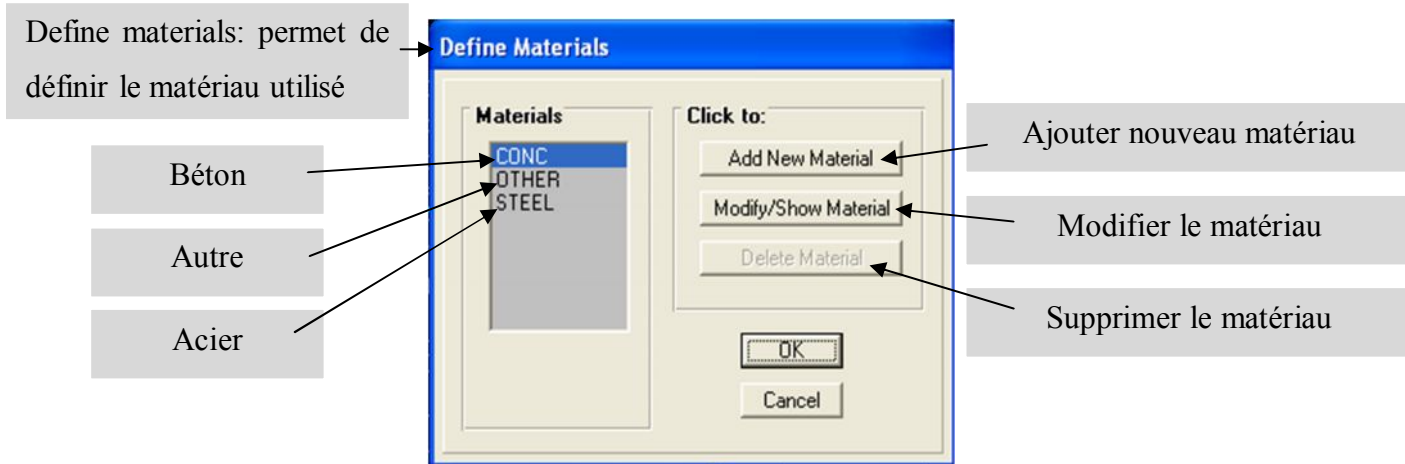
Modifier la ligne de construction)

Supprimer la ligne de construction

Supprimer tous

Menu files ► Define ► materiel:



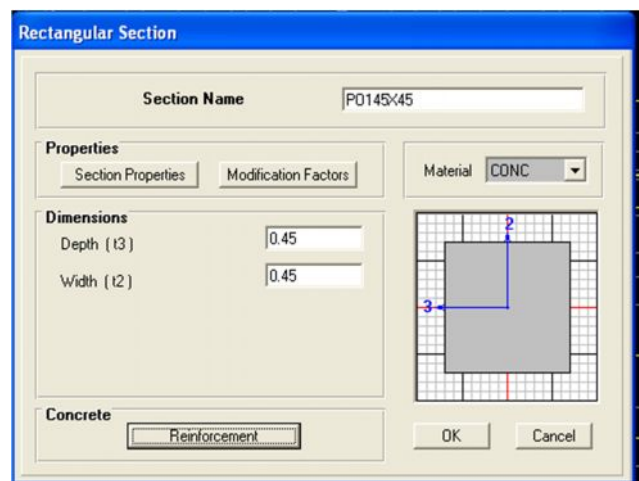
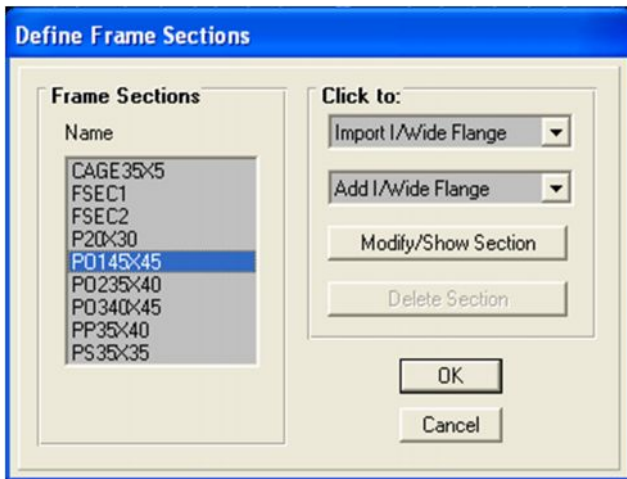


Modify/show matériel : pour saisir les différentes propriétés du béton

Où sont introduites les données suivantes :

- **Les propriétés pour l'analyse :**
 - ✓ Masse par unité de volume : égale à zéro si le poids propre des éléments n'est pas pris en considération dans le calcul des masses concentrées.
 - ✓ Poids par unité de volume.
 - ✓ Module d'élasticité.
 - ✓ Coefficient thermique.
- **Les propriétés de ferrailage**
 - ✓ La limite d'élasticité f_e des barres longitudinal.
 - ✓ La résistance caractéristique du béton pour le calcul des sections d'armatures longitudinales.
 - ✓ La limite d'élasticité f_{eT} des barres transversales.
 - ✓ La résistance caractéristique du béton pour le calcul des sections d'armatures transversales.

Define ► frame section: pour saisir des inerties des éléments de coffrage (poteaux, poutre)



Add rectangular: pour définir une nouvelle section (rectangulaire, circulaire)

- ✦ matériel : « CONC »
- ✦ dimensions : - depuis (t3) : la hauteur de la section
- width (t2) : largeur de la section

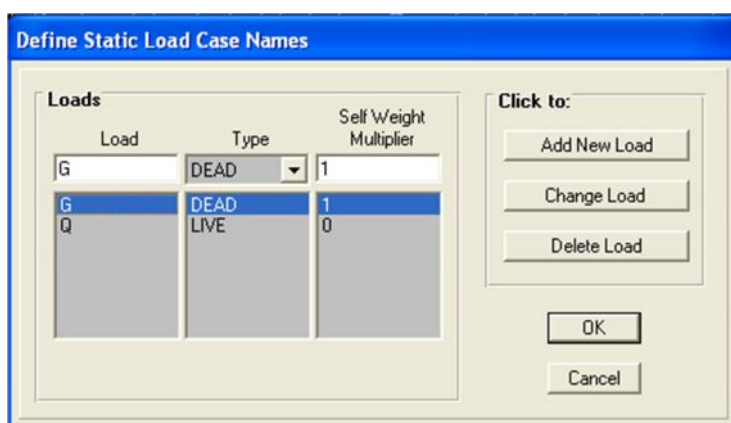
Reinforcement: élément class

Permet de définir le type d'élément (column : poteau, beam : poutre)

Configuration of reinforcement: permet de configurer la disposition des armatures
(Circulaire ou rectangulaire)

- Rectangular reinforcement: permet de paramètre disposition des aciers (enrobage nombre des barres dans le sens 2 ; 3....)

Menu file ► Define ► static load case : pour définir les cas des charge statique (G, P.....)



G : charge permanente ou morte → DEAD

P : surcharge d'exploitation ou vivante → LIVE

Menu file ► Assign ► joint ► restraint: pour définir le nombre de degré de liberté de nœud Maître (translation suivant X , Y et en rotation suivant Z)

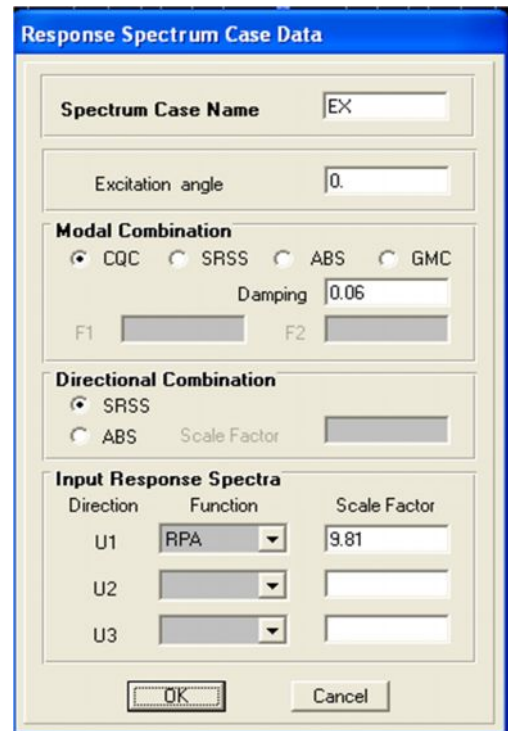
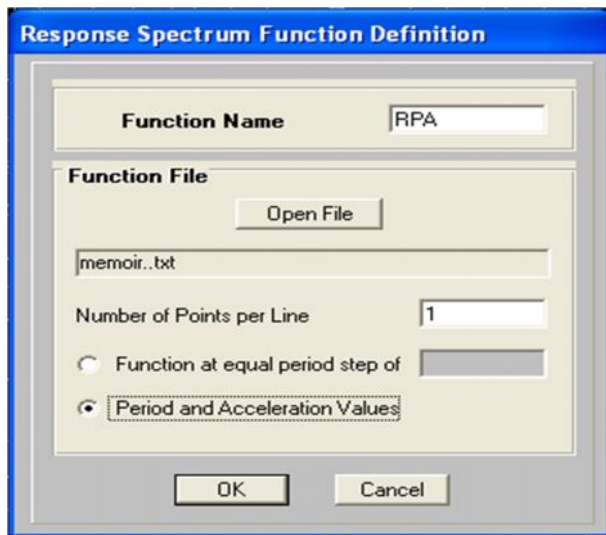
Menu file ► Assign ► joint ► constraint: pour l'affectation d'un diaphragme rigide

Assign ► frame static load ► point and uniform:

Permet d'appliquer les charges réparties ou concentré sur élément frame sélectionné

Define ► load combination: permet de définir les différentes combinaisons et les coefficients de pondération pour chaque une des combinaisons des charges

Define ► response spectrum function: pour introduire les réponses spectrales de la courbe sismique



Cliquer sur Add function from File puis sur open file, aller au répertoire où se trouve le fichier de spectre.

Spécifier le nombre de points par ligne (normalement c'est 1) et sélectionner " period and acceleration values "

Cliquer sur Add new spectre

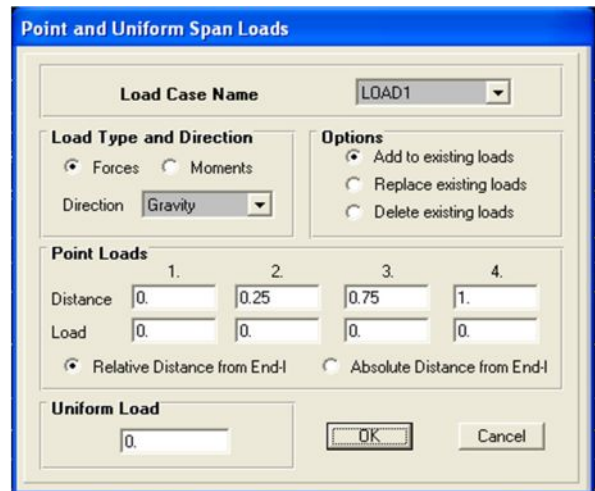
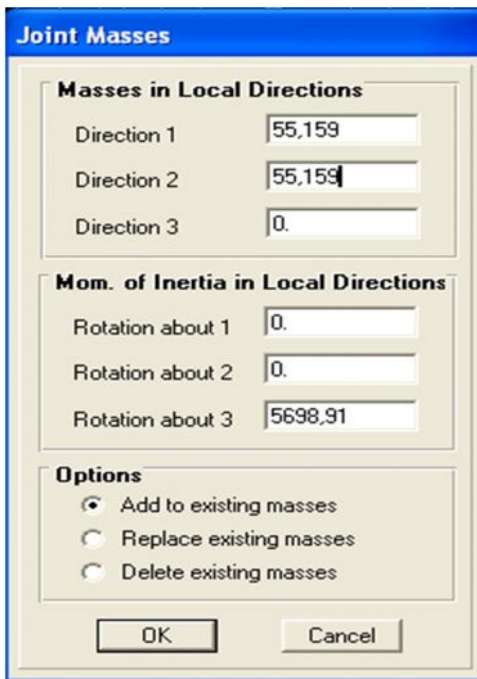
- Le nom du cas de spectre EX et EY
- Angle d'excitation
- Modale combinaison CQC
- Dumping (amortissement)
- Direction des réponses du spectre (direction U1 pour EX et U2 pour EY)

Définition du centre de masse:

- Cliquer sur drew special joint
- Cliquer sur un point approximatif
- Cliquer sur le nœud et corriger les coordonnées; je fais la même chose pour tous les niveaux

Définition des masses et moments d'inertie massique:

Sélectionner les nœuds aller au commande " assign " ; joint, puis masses , donner la masse suivant les directions 1 et 2 et le moment d'inertie massique (rotation) suivant 3.



Chargement de la structure:

Sélectionner la poutre à charger; cliquer sur assign → frame static loads et spécifier le nom du cas de chargement, type répartie ou concentré, et direction de la charge.

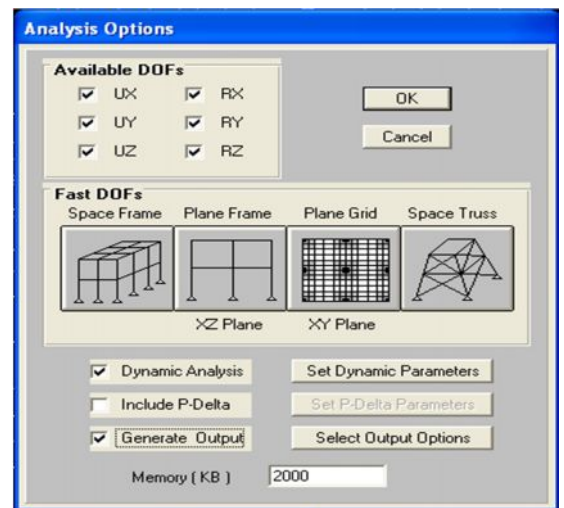
Analyse /set options :

Pour spécifier le nombre de valeurs propre à calculer

Analyse/ Run : ou clique sur :



(Après vérification des différentes données définissant notre modèle).



*A noter que la structure à choisir en général est de type « Full 3D » pour laquelle tous les mouvements sont possibles. Pour des analyses particulières, il est aussi possible de bloquer des degrés de liberté de manière à annihiler par exemple les effets de la torsion. Pour ce faire, il suffit de décocher **RZ**.*

Les résultats obtenus de la structure sont récapitulés dans le tableau suivant :

Modes propres, Périodes propres et Masses effectives							
Modes	Périodes (S)	Masses effectives					
		U X	U Y	θZ	$\Sigma U X$	$\Sigma U Y$	$\Sigma \theta Z$
1	0.325691	0.0000	80.5176	0.0000	0.0000	80.5176	0.0000
2	0.312486	80.7959	0.0000	0.0000	80.7959	80.5176	0.0000
3	0.242196	0.0000	0.0165	0.0000	80.7959	80.5341	0.0000
4	0.099865	0.0000	11.1123	0.0000	80.7959	91.6464	0.0000
5	0.096468	10.9603	0.0000	0.0000	91.7562	91.6464	0.0000
6	0.073672	0.0000	0.0024	0.0000	91.7562	91.6488	0.0000
7	0.051400	0.0000	4.5643	0.0000	91.7562	96.2130	0.0000
8	0.050228	4.4923	0.0000	0.0000	96.2485	96.2130	0.0000

Tab. V.1 Modes propres, Périodes propres et Masses effectives

Conclusion :

On constate que les modes 1 et 2 sont des translations pures suivant les directions principales de la structure, le troisième mode est une torsion.

Les 90% de mobilisation de mode sont atteintes au 5^{ème} mode dans le sens x- x

Les 90% de mobilisation de mode sont atteintes au 4^{ème} mode dans le sens y- y

Les déplacements maximaux :

Les déplacements sont maxima au dernier niveau et les résultats en déplacements (Translation et torsion) sont donnés dans le tableau suivant :

- Translation : (cm) ;
- Rotation : (rad. 10^{-3})

Direction	3DDL					
	U _x	U	U	R	R	R
Déplacement	5,01	6,36	0	0	0	0,005

Tab. V.4 Les déplacements maximaux

Les réactions à la base :

	Fx (t)	Fy (t)	Mx (t.m)	My (t.m)
Ex	171,20	0,224	0,00087	265,96
Ey	0,208	170,34	265,701	3,249

Tab. V.5 Les réactions à la base

V-2-3) 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 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.

1. Coefficient d'accélération de zone (A)

Il est donné par le tableau 4.1 du RPA 99 suivant la zone sismique et la groupe d'utilisateur du bâtiment.

Notre structure est implantée dans la région de Tiaret (zone de faible sismicité) et appartient au groupe d'usage (1A) : Dans notre cas

Zone	Groupe	A
III	02	0,25

Tableau-V-1 Coefficient d'accélération de zone

2. Le facteur de qualité (Q)

Il est fonction de

- La redondance et la géométrie de la structure.
- La régularité en plan et en élévation.
- La qualité du contrôle de la construction.

d) La valeur de (Q) est donnée par la formule : $Q = 1 + \sum_{q=1}^6 Pq$

P_q : la pénalité à retenir selon que le critère de qualité (Q) soit satisfait ou non sa valeur est donnée par le tableau 4.4 du RPA 99.

Critère q	Pq	
1. Conditions minimales sur les files de Contreventement	0,05	N/observé
2. Redondance en plan	0	Observé
3. Régularité en plan	0,05	Observé
4. Régularité en élévation	0	Observé
5. Contrôle de la qualité des matériaux	0,05	N/Observé
6. Contrôle de la qualité de l'exécution	0,05	N /Observé
$\sum_{q=1}^6 Pq$	0,20	

Tableau-V-2-valeurs des pénalités P_q

Q = 1,20

3. Le coefficient de comportement global de la structure (R)

D'après le **tableau 4-3** de RPA 99 .Il est fonction du système de contreventement (Portiques auto stables sans remplissages en maçonnerie rigide).

R = 5

4. Le facteur d'amplification dynamique (D)

Il est en fonction de la catégorie du site, du facteur de correction d'amortissement et du période.

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

Avec : $\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}}$ (Le facteur de correction d'amortissement).

Remplissage	Portiques		Voiles ou murs
	Béton armé	Acier	Béton armé/maçonnerie
Léger	6	4	10
Dense	7	5	

Tableau V-3 : Valeurs de ξ (%)

ξ : Le pourcentage d'amortissement critique, fonction du matériau constructif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

Portique béton arme + Remplissage léger $\rightarrow \xi = 6\% \Rightarrow \eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}} = 0,93 > 0,7$

$$T = C_T h_N^{3/4} \quad (\text{Période fondamentale de la structure})$$

C_T : Coefficient fonction du système de contreventement, du type de remplissage, et donné par le tableau 4.6 du RPA 99.

C_T : Coefficient $C_T = 0,05$ dans les deux sens

h_N : Hauteur mesurée en mètre à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau.

(Portique auto stable en béton armé « cas 3 »)

On a pour un site rocheux (catégorie S_1) : $\begin{cases} T_1 = 0,15 \\ T_2 = 0,5 \end{cases}$

T : la valeur de la période fondamentale de la structure peut être estimée à partir des formules empiriques ou calculée par des méthodes analytiques ou numériques.

$$T = C_T . h_N^{3/4}$$

Ou : $T = 0,09 h_N / \sqrt{D}$

D : largeur du bâtiment dans le sens considéré.

h_N : hauteur totale du bâtiment / $h_N = 22,36 \text{ m}$; $C_T = 0,05$

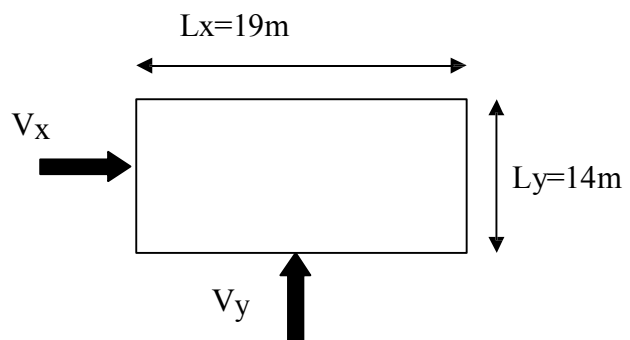
D : la dimension du bâtiment mesurée à la base dans la direction de calcul considérée

Sens longitudinal :

$$T_x = 0,09 \frac{22,36}{\sqrt{19}} = 0,46 \text{ sec}$$

Sens transversal :

$$T_y = 0,09 \frac{22,36}{\sqrt{14}} = 0,54 \text{ sec}$$



Le même article (4.2.4) stipule de prendre la valeur la plus petite entre les deux pour chaque direction de calcul considérée :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{Sens longitudinal : } T_X = 0.46 \text{ sec} & (0 \leq T_X \leq T_2) \\ \text{Sens transversal : } T_Y = 0.54 \text{ sec} & (T_2 \leq T_Y \leq 3,0) \end{array} \right.$$

$$\text{Donc : } D_x = 2.5 \eta = 2.5 \times 0.9354 = 2.338$$

$$D_Y = 2.5 \eta (T_2/T)^{2/3} = 2,22$$

R : coefficient de comportement de la structure, donné par le tableau 4.3 (RPA99)

Portique auto stable avec remplissage en maçonnerie rigide $P R = 3.5$

Q : facteur de qualité, donné par la formule (4-4) : $Q = 1 + \sum Pq$

P_q : la pénalité qui dépend de l'observation ou non du critère de qualité q, donnée par le tableau 4.4 (RPA99)

D'où, **Q = 1,20**.

Tableau V-6- : Masses total pour différents niveaux

C'est les poids pris en compte dans le calcul sismique.

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad ; \quad W_i = W_{Gi} + \beta \cdot W_{Qi} \quad [\text{RPA99/formule 4.5}]$$

W_{Gi} : le poids du aux charges permanentes et celles des équipements fixes éventuels solidaires de la structure.

W_{Qi} : charges d'exploitation.

β : coefficient de pondération donné par le tableau 4.5 du RPA 99.

Bâtiment d'habitation, $\Rightarrow B = 0,2$

-Détermination des poids (Wt) de la structure :**Le niveau (RDC) :**

La surface du plancher : $S=252,5\text{m}^2$.

Poids de :

plancher $G \times S = 145,44 \text{ t}$

Poteaux $n \times b \times h \times \gamma_b \times ht = 20,03 \text{ t}$

poutres principales $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 16,8 \text{ t}$

poutres secondaires..... $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 19,95 \text{ t}$

les murs extérieurs..... $0,80 \times G \times ht \times \sum L = 38,93 \text{ t}$

les escaliers $p = G \times S = 16,45 \text{ t}$

les balcons $p = G \times S = 6,28 \text{ t}$

Les murs voiles..... $e_p \times ht \times \gamma_b \times \sum L = 21,18 \text{ t}$

G=285,06 t

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

$p=0,15 \times 252,5=37,87 \text{ t}$

Le poids $Wt=G+\beta P=285,06 + 0,2 \times 37,87$

Wt=292,63 t

Le niveau 1^{er}, 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème},

plancher $G \times S = 145,44 \text{ t}$

Poteaux $n \times b \times h \times \gamma_b \times ht = 16,07 \text{ t}$

poutres principales $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 16,8 \text{ t}$

poutres secondaires..... $b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 19,95 \text{ t}$

les murs extérieurs..... $0,80 \times G \times ht \times \sum L = 33,97 \text{ t}$

les escaliers $p = G \times S = 16,45 \text{ t}$

les balcons $p = G \times S = 6,28 \text{ t}$

Les murs voiles..... $e_p \times ht \times \gamma_b \times \sum L = 18,36$

G=273,32 t

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

$p=0,15 \times 252,5=37,87 \text{ t}$

Le poids $Wt=G+\beta P=273,32+ 0,2 \times 37,87$

Wt=280,89 t

Niveau (terrasse)

Acrotère.....	$G \times L = 11,455 \text{ t}$
Plancher	$G \times S = 180,08 \text{ t}$
Poteaux	$n \times b \times h \times \gamma_b \times ht/2 = 8,03 \text{ t}$
poutres principales	$b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 16,8 \text{ t}$
poutres secondaires.....	$b \times h \times \gamma_b \times \sum L = 19,95 \text{ t}$
les murs extérieurs.....	$0,80 \times G \times m \times (ht/2) \times \sum L = 16,98 \text{ t}$
Les murs voile.....	$e_p \times (ht/2) \times \gamma_b \times \sum L = 9,18 \text{ t}$

G=262,47t

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

$p=0,1 \times 266=26,6 \text{ t}$

Le poids $W_t=G+\beta P=262,47 + 0,2 \times 26,6$

Wt=267,79 t

Poids total du bâtiment : $W = 1649,326 \text{ t}$

Poids total du bâtiment : $W = 1447,080 \text{ t}$ (d'après SAP2000)

$V_x = \frac{A.D.Q}{R} \cdot W = \frac{0,25 \times 2,338 \times 1,20}{3,5} \times 1649,326 = 330,525 \text{ t}$

	$V_t \text{ (t)}$	$V \text{ (t)}$	$80\%V$	$0.8V < V_t$
Sens X	171,20	168,598	134,87	vérifie
Sens Y	170,34	160,089	128,07	vérifie

Tab. V.6 Résultante des forces sismiques à la base