

V-1. Définition:

Le séisme, est un phénomène naturel qui se produit à partir du frottement entre les plaques tectoniques. Un déplacement de ces dernières, engendre des efforts de secousses.

Le calcul des forces sismiques peut être mené à l'aide des deux méthodes suivantes :

• **Méthode statique équivalente :**

Analyse statique d'une structure sous l'effet d'un système de forces statiques équivalent à celles (dynamiques) de l'action sismique.

• **Méthode d'analyse modale spectrale :** (dynamique)

Analyse dynamique d'une structure sous l'effet d'un séisme représentée par un spectre de réponse.

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.

Cette méthode nécessite en plus de la plus bonne modélisation de la structure, une bonne assistance dans l'étape d'analyse, ce qui rend facile la résolution complexe pour les constructions de grandes dimensions. On utilise la méthode dynamique pour calculer l'effet sismique.

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

SAP 2000 (structural analysis program) est le logiciel le plus utilisé dans le domaine de l'analyse des structures par élément, il offre :

- ✓ Capacité de calcul importante.
- ✓ Grande Vitesse d'exécution.
- ✓ Forte précision.
- ✓ Analyse statique et dynamique.

❖ **Méthode de travail de SAP 2000 :**

1- Choix d'unité pour la saisie des données dans le **SAP 2000**.

2- Géométrie de base :

MENU : file → New → Model From template.

Cette option permet de créer un modèle « régulier » rapidement. En utilisant des template prédéfinies.

Modification de la géométrie de base :

MENU: Draw → Edit grid → Add gride line.

Modification des nœuds :

Il est possible de modifier les coordonnées des nœuds sélectionnés et appuyer sur le bouton de droite de la souris, une fenêtre apparaît et permet de modifier les cordonnées X Y Z ; ainsi que le numéro du nœud.

3-choix des sections :

Il existe une multitude de sections prédéfinies dans le **SAP 2000**, comme les sections ne sont pas standard il faut d'abord définir des nouvelles propriétés de sections pour les poutres et les poteaux, il faut ensuite les assigner aux membrures correspondantes.

Exemple : poteau (40×40) cm².

Pour définir la géométrie de la section de poteau 40×40.

MENU : Define → Frame sections → rectangulair.

Sélectionner les poteaux de section 40× 40.

MENU : ASSING → Frame section.

NB :

Le **SAP 2000** calculera automatiquement la propriété géométrique comme l'aire, l'inertie, il est également possible de modifier ces propriétés.

4-Définition des matériaux :

Le matériau (concret = béton) à été assigne aux sections poteaux –poutres.

Il faut vérifier si les propriétés prédéfinie pour ce matériau.

Matériaux (matériau : **CONC : béton**). → **MENU :**

5-Définition des conditions limites :

Appuis : sélectionner les nœuds de la base on dessinant une fenêtre à l'aide de la souris.

MENU : Assing → Joint → Restraints.

6-Définition des cas de chargements :

MENU: Define → Static laod cases names.

Exemple :

G	DEAD	1
P	LIVE	0
E_X	OTHER	0
E_Y	OTHER	0

-**G** : charge permanente ou morte **DEAD**.

-**P** : charge d'exploitation ou vivante **LIVE**.

-**E_X, E_Y** l'efforts sismique suivant X, Y.

7- Définition des charges : a l'aide de l'icône:

- Sélectionner les éléments frame a chargées.



-Sélectionner (**point and uniforme spase loads**) afin de définir un chargement répartie sur l'élément frame sélectionner.

Remarque: (add to existing loads) : permet d'additionner les chargements, par exemple, on charge les poutres porteuses avec le poids de planchers, on valide la boîte, ensuite on leur affecte le poids de mur en double cloison, c'est la une méthode rapide pour charger notre structure.

8-Analyse modale :

Le principe de l'analyse modale est basé sur la prise en compte de trois degrés de libertés significatifs (2 translations horizontales et une rotation de torsion d'ensembles autour de l'axe verticale).

Définition du nœud maître :

-Spécifier un nœud spécial à l'aide de l'icône « **spécial joint** ».

-Saisir les coordonnées réelles via la boîte « **joint information** ».

-Définir le nombre de degré de liberté de notre nœud maître (libre en translation suivant X et Y et en rotation suivant Z).

MENU : ASSING → joint → Restraint.

-Affecter une masse ainsi qu'une inertie massique à notre nœud maître via le menu :

MENU : ASSING → joint → Masses.

-Affectation d'un diaphragme rigide.

MENU : ASSING → Joint → Constraint.

-Introduction les réponses spectrales de la courbe sismique via le menu :

MENU : DEFINE → Reponse spectrum fonction.

9-Définition des différentes combinaisons :

On définit les coefficients de pondération pour chacun des combinaisons des charges

MENU : DEFINE → Load combinaisons.

V-2. Préparation du fichier de données de SAP 2000 :

Les différents coefficients de calcul :

V-2.1 Coefficient d'accélération de zone : A

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Zone sismique : I} \\ \text{Groupe d'usage 2} \end{array} \right. \Rightarrow A = 0,10 \quad (\text{Page 14- RPA99}).$$

V-2.2 Pourcentage d'amortissement critique : ξ (%)

$$\xi = 10 \% \longrightarrow (\text{page 26 - RPA99}).$$

V-2.3 Facteur de correction d'amortissement : η

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}} = \sqrt{\frac{7}{12}} = 0,76 \geq 0,7 \Rightarrow \text{condition vérifiée.} \longrightarrow (\text{page 26- RPA99}).$$

V-2.4 Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site:

$$\text{Site (3)} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} T_1 = 0,15S \\ T_2 = 0,50S \end{array} \right. \longrightarrow (\text{page 34 -Tableau 4.7 RPA99}).$$

V-2.5 Période fondamentale de la structure :

$$T = C_T \cdot h_n^{3/4}$$

Avec :

h_n : la hauteur mesurée en mètre à partir de la base de la construction jusqu'au dernier niveau .

C_T : coefficient, fonction du système de contreventement , du type de remplissage et donnée par le tableau 4.6 (page 31- RPA99) .

$$C_T = 0,050 \quad ; \quad h_n = 19,3 \text{ m.} \Rightarrow T = 0,050 \times 19,3^{3/4} = 0,46 \text{ S.}$$

$$T = 0,46 \text{ S.}$$

V-2.6 Coefficient de comportement global de structure:

$R = 5$ (Mixte portiques / voiles avec interaction) → (page 28- RPA99) .

V-2.7 Facteur de qualité : Q

La valeur de 'Q' est déterminée par la formule : $Q = 1 + \sum_1^i Pq_i$

Critère q	Pq	
	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	0,00
5-cotrôle de la qualité des matériaux.	0	0,05
6- contrôle de la qualité de l'exécution..	0	0,10

Tableau V-1: Valeurs des pénalités Pq.

$$Q = 1 + (0,05 + 0,05 + 0 + 0 + 0 + 0,1) \Rightarrow Q = 1,2$$

V-3 Poids total de chaque plancher:

$$W_i = W_{Gi} + \beta \cdot W_{Qi}$$

Avec :

W_{Gi} : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure

W_{Qi} : charges d'exploitation. $\left\{ \begin{array}{l} \beta = 0,2 : \text{Pour les bâtiments d'habitation, bureaux.} \\ \beta = 0,5 : \text{Pour locaux de commerce.} \end{array} \right.$

β : coefficient de pondération

β : (page 30 -Tableau 4.5 RPA99).

V-3.1 Terrassen : $S = 249,815 \text{ m}^2$.

- Plancher : $G \times S = 6,55 \cdot 249,18 = 1849,196 \text{ KN}$.
- Acrotère : $S_A \cdot 25 \cdot Pér = 0,079 \cdot 25 \cdot 114,815 = 168,015 \text{ KN}$.
- Surcharge: $\beta \cdot P \cdot S = 0,2 \cdot 1 \cdot 249,815 = 56,46 \text{ KN}$.
- Poteaux: $b \cdot h \cdot l \cdot 25 \text{ Nbr} = 0,40 \cdot 0,40 \cdot (3,06-0,45)/2 = 125,28 \text{ KN}$
- Poutre principale: $b \cdot h \cdot l \cdot 25 = 0,35 \cdot 0,30 \cdot 70,8 \cdot 25 = 185,85 \text{ KN}$
- Escalier : $G \cdot S/2 = 86,83/2 = 43,41 \text{ KN}$

- $\frac{1}{2}$ murs de façade: $\frac{1}{2} \cdot h_m \cdot P_{ér} \cdot \rho = 0,8$.

Avec :

ρ : poids surfacique = $2,72 \text{ KN/m}^2$.

$\frac{1}{2}$ murs = $\frac{1}{2} \cdot 2,72 \cdot 114,46(3,06 - 0,45) = 329,81 \text{ KN}$.

$$W_T = 1849,196 + 168,015 + 56,46 + 125,28 + 172,28 + 185,85 + 43,41 + 329,81$$

$$\Rightarrow W_T = 3088,72 \text{ KN} = 308,78 \text{ t}$$

V-3.2 Les étages courants (3,4) ^{ème} étage : $S = 230,64 \text{ m}^2$.

- Plancher : = $1414,75 \text{ KN}$.
- Surcharge : = $80,99 \text{ KN}$.
- murs de façade : = $659,62 \text{ KN}$.
- Poteaux : = $250,56 \text{ KN}$.
- Poutre principale: = $272,7 \text{ KN}$.
- Poutre secondaire: = $185,85 \text{ KN}$.
- Escalier: = $86,83 \text{ KN}$.
- Balcons: $S \cdot 25 \cdot \text{Nbr} \cdot \text{ep} = 63,36 \text{ KN}$.

$$W_e = 1414,75 + 80,99 + 659,62 + 250,56 + 272,7 + 185,85 + 86,83 + 63,83$$

$$\Rightarrow W_e = 3014,66 \text{ KN} = 301,46 \text{ t}$$

V-3.3 2^{ème} étage : $S = 412,26 \text{ m}^2$

- Plancher : = $1414,75 \text{ KN}$.
- Surcharge: = $80,99 \text{ KN}$.
- murs de façade : = $659,62 \text{ KN}$.
- Balcons : = $31,68 \text{ KN}$.

- Poteaux (40x40) : = 125,28KN.
- Poteaux (45x45) : = 158,56KN.
- Poutre principale : = 272,7KN.
- Poutre secondaire : = 185,85KN.
- Escalier : =86,83KN.

$$W_{1\grave{e}r} = 1414,75 + 80,99 + 659,32 + 31,68 + 125,28 + 158,56 + 272,7 + 185,85$$

$\Rightarrow W = 3016,26 \text{ KN} = 301,47 \text{ t.}$

V-3.4.1 1^{er} étage: $S = 230,64 \text{ m}^2$

- Plancher : = 1414,75 KN.
- Surcharge: = 80,99 KN.
- murs de façade : =659,62KN.
- Poteaux (45x45) : =317,115KN.
- Poutre principale : =272,7KN.
- Poutre secondaire : =185,85KN.

$$W_{RDC} = 1414,75 + 80,99 + 317,115 + 272,7 + 185,85 + 659,62$$

$\Rightarrow W = 2864,47 \text{ KN} = 286,44 \text{ t.}$

V-3.5 RDC: $S = 230,64 \text{ m}^2$

- Plancher : = 1414,75 KN.
- Surcharge : = 80,99 KN.
- murs de façade : =659,62KN.
- Poteaux (45x45): =431,325KN.
- Poutre principale : =272,7KN

- Poutre secondaire : =185,85KN.

$$W = 1414,75 + 80,99 + 659,62 + 431,325 + 272,7 + 185,85$$

$$\Rightarrow W_{s-sol} = 3645,177 \text{ KN} = 364,51 \text{ t.}$$

V-4 Détermination du centre de masse et le moment d'inertie massique:

V-4.1 Le centre de masse:

On les détermine à partir d'un repère globale ;

$$X_m = \frac{\sum m_i \times x_i}{\sum m_i} \quad ; \quad Y_m = \frac{\sum m_i \times y_i}{\sum m_i}$$

V-4.2 Le moment massique:

$$M_{ZZ} = \frac{W}{S} \times (I_{xx} + I_{yy}).$$

Avec :

M_{ZZ} : le moment d'inertie massique.

W : masse du plancher considéré.

I_{xx} : moment d'inertie du plancher /xx.

I_{yy} : moment d'inertie du plancher /yy.

S : section du plancher.

$$\begin{cases} X_m = 12,82m. \\ Y_m = 4,8 m. \end{cases} \quad \text{pour la totalité des étages.}$$

V-4.3 Le centre de torsion:

$$X_t = 12,82m \quad ; \quad Y_t = 4,8m.$$

V-4.4 Les coordonnées de nœud maître :

$$\begin{aligned} X_{NM} &= X_m + e_x^{\max} \\ Y_{NM} &= Y_m + e_y^{\max} \end{aligned} \quad \text{Avec :} \quad e^{\max} = \max(e_{th}; e_{RPA}).$$

a- L'excentricité théorique : (e_{th})

$$e_x^{th} = X_t - X_m = 12,82 - 12,82 = 0m.$$

$$e_y^{th} = Y_t - Y_m = 4,8 - 4,8 = 0m.$$

b- L'excentricité de RPA : (e_{RPA})

$$e_x^{RPA} = 5\% \times L_x = 0,05 \times 26 = 1,3m.$$

$$e_y^{RPA} = 5\% \times L_y = 0,05 \times 10,10 = 0,505m.$$

$$e_x^{max} = \max(0; 1,3) = 1,3 m.$$

$$e_y^{max} = \max(0; 0,505) = 0,505 m.$$

$$X_{NM} = X_m + e_x^{max} = 12,82 + 1,3 = 14,12m.$$

$$Y_{NM} = Y_m + e_y^{max} = 5,82 + 0,505 = 5,31m.$$

étages	W	S	I_{xx}	I_{yy}	M_{ZZ}	X_{NM}	Y_{NM}
terrasse	314,86	249,815	1992,3448	13503,7164	17282,13	14,12	5,31
3,4 étage	307,30	230,64	1765,2375	13486,8384	17358,63	14,12	5,31
2 ^{èr} étage	301,47	230,64	1765,2375	13486,8384	17030,42	14,12	5,31
1 ^{èr} étage	291,99	230,64	1765,2375	13486,8384	16494,88	14,12	5,31
RDC	301,19	230,64	1765,2375	13486,8384	20591,63	14,12	5,31

V.4 Calcul de l'effort :

$$V_x = \frac{A \times D \times Q}{R} \times W = \frac{0,10 \times 2,39 \times 1,2}{5} \times 1516,75 = 1029,81 t$$

$$V_y = \frac{A \times D \times Q}{R} \times W = \frac{0,10 \times 1,81 \times 1,2}{5} \times 1516,75 = 779,90 t$$

On doit vérifier que 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 de la force sismique déterminée par la méthode statique équivalente.

On vérifié aussi que la période dynamique T_{dyn} ne doit pas être supérieur à la majoration de 30% de la période statique fondamentale T :

V.4.2 Le déplacement relatif admissible :

$\Delta_{r-ad} = 1\% \cdot h_e$. Avec $h_e = 3.06m$ pour les étages courants et 4 pour RDC.

Suivant le sens x :

Niveaux	$\delta_{eK} (m)$	$\delta_K = R \cdot \delta_{eK}$	$\Delta_K = \delta_K - \delta_{K-1}$	$\Delta_{r-ad} = 1\% \cdot h_e$	Condition
6	0.003196	0.01598	0	0.0306	C.V
5	0.003196	0.01598	0.002285	0.0306	C.V
4	0.002739	0.013695	0.003465	0.0306	C.V
3	0.002046	0.01023	0.00391	0.0306	C.V
2	0.001264	0.00632	0.003635	0.0306	C.V
1	0.000537	0.002685	0.002685	0.04	C.V

Tableau V.2 : Le déplacement relatif admissible suivant x**Suivant le sens y :**

Niveaux	$\delta_{eK} (m)$	$\delta_K = R \cdot \delta_{eK}$	$\Delta_K = \delta_K - \delta_{K-1}$	$\Delta_{r-ad} = 1\% \cdot h_e$	Condition
6	0.000846	0,00423	0	0.0306	C.V
5	0.000846	0,00423	0,000725	0.0306	C.V
4	0.000701	0,003505	0,000895	0.0306	C.V
3	0.000522	0,00261	0,00094	0.0306	C.V
2	0.000331	0,00167	0,00088	0.0306	C.V
1	0.000158	0,00079	0,00075	0.04	C.V

Tableau V.3: Le déplacement relatif admissible suivant y