

Chapitre VI : Méthode dynamique modale spectrale

VI.1. Principe de la méthode :

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**.

VI.2. Modélisation :

- Pour les **structures régulières en plan** comportant des **planchers rigides**, l'analyse est faite séparément dans chacune des deux directions principales du bâtiment. Celui-ci est alors représenté dans chacune des deux directions de calcul par un **modèle plan**, **encastré à la base** et où les **masses sont concentrées au niveau des centres de gravité des planchers** avec un **seul DDL en translation horizontale**.
- Pour les **structures irrégulières en plan**, disposés à la **torsion** et comportant des **planchers rigides**, elles sont représentées par un **modèle tridimensionnel**, **encastré à la base** et où les **masses sont concentrées au niveau des centres de gravité des planchers** avec **trois (03) DDL (2 translations horizontales et une rotation d'axe vertical)**.
- Pour les structures **régulières ou non** comportant des **planchers flexibles**, elles sont représentées par des **modèles tridimensionnels encastrés à la base** et à **plusieurs DDL par plancher**.
- La **déformabilité du sol** de fondation doit être **prise en compte** dans le modèle toutes les fois où la réponse de la structure en dépend de façon significative
- Le **modèle de bâtiment** à utiliser doit **représenter au mieux les distributions des rigidités et des masses** de façon à **prendre en compte tous les modes de déformation** significatifs dans le calcul des forces d'inertie sismiques (ex : contribution des zones nodales et des éléments non structuraux à la rigidité du bâtiment).
- Dans le cas des **bâtiments en béton armé ou en maçonnerie** la **rigidité des éléments porteurs** doit être calculée en considérant les **sections non fissurées**. Si les déplacements sont critiques particulièrement dans le cas de structures associées à des **valeurs élevées du coefficient de comportement (R)**, une estimation plus précise de la rigidité devient nécessaire par la prise en compte de sections fissurées.

VI.3. Spectre de réponse de calcul :

Le **mouvement sismique** dû à un séisme en un point donné de la surface du sol est représenté par un spectre de réponse, dénommé, **spectre de réponse élastique**.

Le **comportement ductile ou non linéaire** de la structure est **pris en compte** en réalisant une analyse élastique basée sur un spectre de réponse réduit par rapport au spectre de réponse élastique par l'introduction d'un **coefficient de comportement R**. Le spectre utilisé dans ce cas est dénommé **spectre de calcul ou de dimensionnement**.

Selon le RPA99 version 2003, l'action sismique est définie par le spectre de réponse de calcul suivant :

$$\frac{s_A}{g} = \begin{cases} 1.25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 3.0s \end{cases}$$

Où :

A : coefficient d'accélération de zone (Tableau IV.2),

η : facteur de correction d'amortissement (définie au § V.2.4.1),

R : coefficient de comportement de la structure (définie au §IV.4.2),

T_1 et T_2 : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site (Tableau V.1),

Q : facteur de qualité (Tableau V.3).

VI.4. Nombre de modes à considérer :

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** (Énergie de déformation dissipé) **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 :**

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

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

VI.5. Nombre de modes à considérer :

a) Les **réponses de deux modes de vibration** i et j de périodes T_i , T_j et d'amortissement ξ_i , ξ_j sont considérées comme **indépendantes** si le rapport $r = T_i/T_j$ ($T_i \leq T_j$) vérifie :

$$r \leq \frac{10}{10 + \sqrt{\xi_i \xi_j}}$$

Dans ce cas, la réponse totale est donnée par :

$$E = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^k E_i^2}$$

Où E_i est la valeur modale de E selon le mode « i ».

- b) Dans le cas où **deux réponses modales ne sont pas indépendantes** ; E_1 et E_2 par exemple, la réponse totale est donnée par :

$$E = \pm \sqrt{(|E_1| + |E_2|)^2 + \sum_{i=3}^k E_i^2}$$

VI.6. 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 **$0.80 V/V_t$** .

VI.7. Effets de la torsion accidentelle :

Quand il est procédé à une analyse par modèles plans dans les deux directions orthogonales Les effets de la torsion accidentelle d'axe vertical sont à prendre en compte tel que décrit au paragraphe V.5.

Dans le cas où il est procédé à une **analyse tridimensionnelle**, en plus de l'**excentricité théorique** calculée, une **excentricité accidentelle (additionnelle)** égale à **$\pm 0.05 L$** , (L étant la dimension du plancher perpendiculaire à la direction de l'action sismique) doit être appliquée au niveau du plancher considéré et suivant chaque direction.

VI.7. Prescriptions communes aux méthodes « statique » et « dynamique » :

VI.7.1. Stabilité au renversement :

Le moment de renversement qui peut être causé par l'action sismique doit être calculé par rapport au niveau de contact sol-fondation.

Le moment stabilisant sera calculé en prenant en compte le poids total équivalent au poids de la construction, au poids des fondations et éventuellement au poids du remblai.

VI.7.2. Composante verticale de l'action sismique :

Les effets de la composante verticale de l'action sismique doivent être pris en compte dans le calcul des porte-à-faux de plus de 1,50m de long et ceci, en zone sismique IIb et III.

A cet effet, outre la force descendante adéquate, une force sismique minimum ascendante nette doit être prise en considération :

$$F_v = 0.5AW_p$$

Où :

A : coefficient d'accélération de zone (Tableau IV.2),

W_p : poids propre de l'élément en porte à faux.

VI.7.3. Calcul des déplacements :

Le déplacement horizontal à chaque niveau " k " de la structure est calculé comme suit :

$$\delta_k = R\delta_{ek}$$

Où :

δ_{ek} : déplacement dû aux forces sismiques F_i (y compris l'effet de torsion),

R : coefficient de comportement de la structure.

Le déplacement relatif au niveau « k » par rapport au niveau « $k - 1$ » est égal à :

$$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1}$$

Référence :

RPA-99, 2003. Règles parasismiques Algériennes 1999. Document technique réglementaire

DTR-BC 248 - Centre National de Recherche Appliquée en Génie sismique (CGS), Alger, 90p.