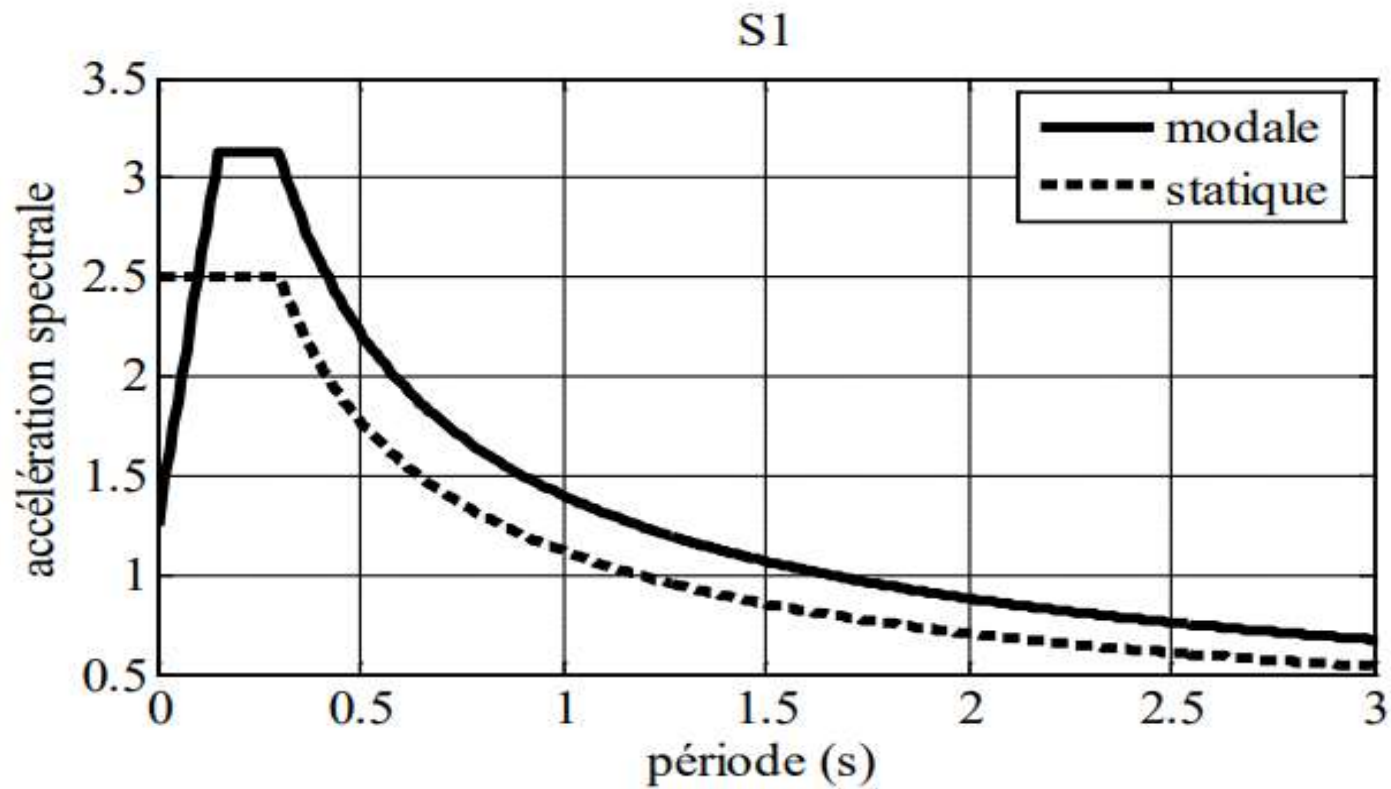


Chapitre 6: Méthode dynamique modale spectrale



6.1. Introduction

Le RPA 99/2003 décrit en détail deux méthodes de calcul sismique, la méthode **statique équivalente** et la méthode **modale spectrale**, la première est une **méthode adaptée** par la plupart des **codes parasismiques** et s'applique **seulement** si la structure est classée **régulière** selon certains **critères**, ou bien **irrégulière** en respectant quelques **conditions**, la **seconde** méthode est **applicable** dans tous les **cas**, et en particulier, où la méthode statique équivalente **n'est pas permise**..

La **modélisation** des ouvrages est une étape **importante** lors du **calcul dynamique**, car la détermination d'un **modèle représentant** le plus **correctement possible** la **distribution de la masse** et de **la raideur** s'approche du **comportement réel** de la structure et aide donc à **obtenir** de **bons résultats** d'analyse.

Le concept le plus **répandu** pour **représenter** un **séisme** en **GC** est le **spectre de réponse (SR)**, car il fournit la **réponse maximale d'oscillateurs linéaires élastiques** soumis à un séisme, le **SR** met en évidence le **contenu fréquentiel** d'un **mouvement sismique**, c'est-à-dire la **présentation graphique** de l'**accélération**, la **vitesse** ou le **déplacement** en fonction de la **période propre** ou de la **fréquence**.

6.2. 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.

6.3. Modélisation

a) 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.

b) Pour les structures irrégulières en plan, sujettes 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).

Chapitre V: Méthode dynamique modale spectrale

c) 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. d) 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.

e) 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).

f) 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, une estimation plus précise de la rigidité devient nécessaire par la prise en compte de sections fissurées.

Chapitre V: Méthode dynamique modale spectrale

6.4. Spectre de réponse de calcul

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

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

A : coefficient d'accélération de zone.
 η : facteur de correction d'amortissement.

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

ξ : pourcentage d'amortissement critique
R : coefficient de comportement de la structure.

T1, T2 : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.

Q : facteur de qualité.

6.5. 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 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.
- 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 :

$$- K \geq 3\sqrt{N} \quad \text{et} \quad T_k \leq 0.2 \text{ sec}$$

Ou: **N** est le nombre de niveaux au dessus du sol ; et **T_k** la période du mode K

6.6. Combinaison des réponses modales

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

$$r \leq 10 / \left(10 + \sqrt{\xi_i \xi_j} \right)$$

b) Dans le cas où toutes les réponses modales retenues sont **indépendantes** les unes des autres, la **réponse totale** est donnée par :

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

E : effet de l'action sismique considéré

E_i : valeur modale de **E** selon le mode « i »

K : nombre de modes retenus **i**.

6.6. Combinaison des réponses modales

c) Dans le cas où deux réponses modales ne sont **pas indépendantes** ; E1 et E2 par exemple, la réponse totale est donnée par :

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

6.7. Résultante des forces sismiques de calcul

La résultante des forces sismiques à la base **Vd** 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 **Vs** pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule empirique appropriée.

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

6.8. Effets de la torsion accidentelle

Dans le cas où il est procédé à une analyse tridimensionnelle, en plus de l'excentricité théorique calculée, une excentricité accidentelle (additionnelle) égale à $0.05 L$, (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.

6.9. PRESCRIPTIONS COMMUNES AUX METHODES « STATIQUE » ET « DYNAMIQUE »

6.9.1. 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.

6.9.2 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 zones sismiques **IIb et III**. A cet effet, outre la force descendante adéquate, une force sismique minimum ascendante nette **F_v**, doit être prise en considération :

$$F_v = 0.5 . A . W_p$$

W_p : poids propre de l'élément en porte à faux ; **A** : coefficient sismique de zone.

6.9.3. Calcul des déplacements

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

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

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

R : coefficient de comportement .

Le déplacement relatif au niveau "k" par rapport au niveau "k-1" est égal à :

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