

5.1. Introduction

Les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces statiques fictives dont les effets sont considérés équivalents à ceux de l'action sismique. Le mouvement du sol peut se faire dans une direction quelconque dans le plan horizontal. Les forces sismiques horizontales équivalentes seront considérées appliquées successivement suivant deux directions orthogonales caractéristiques choisies par le projeteur. Dans le cas général, ces deux directions sont les axes principaux du plan horizontal de la structure.

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

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

Chapitre V: Méthode statique équivalente

5.2. Conditions d'application de la MSE

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

- a) Le bâtiment ou bloc étudié, satisfaisait aux conditions de régularité en plan et en élévation avec une hauteur au plus égale à 65m en zones I et IIa et à 30m en zones IIb et III.
- b) Le bâtiment ou bloc étudié présente une configuration irrégulière tout en respectant, autres les conditions de hauteur énoncées en a), les conditions complémentaires suivante.

Zone I	Zone IIa	Zones IIb et III
Tous les groupes	Groupe d'usage 3. Groupe d'usage 2 si (ht<23m ou 07 Niveaux) Groupe d'usage 1B si (ht<17m ou 05 Niveaux) Groupe d'usage 1A (ht<10m ou 3 Niveaux)	Groupe d'usage (2 et 3) si : Ht<5Niveaux ou 17 m); Groupe d'usage (1B) si: Ht<3Niveaux ou 10m) Groupe d'usage (1A) si: Ht<_2 Niveaux ou 08m)

5.3.Modélisation

- a) Le **modèle** du **bâtiment** à utiliser dans chacune des deux directions de calcul est **plan** avec les **masses concentrées** au **centre de gravité** des **planchers** et **un seul degré** de liberté en **translation horizontale** par **niveau** sous réserve que les **systèmes** de contreventement dans les **deux** (2) directions **puissent être découplés**;

- a) La **rigidité latérale** des éléments **porteurs** du système de **contreventement** est calculée à partir de **sections** non fissurées pour les **structures** en **béton armé** ou en **maçonnerie**;

- a) Seul le **mode fondamental** de vibration de la structure est à **considérer** dans le **calcul** de la **force sismique totale**.

5.4. Calcul de la force sismique totale

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule :

$$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} W$$

Avec:

A: coefficient d'accélération de zone donné par le tableau suivant la **zone sismique** et le groupe **d'usage** du bâtiment.

Groupe	Zone			
	I	Ila	Ilb	III
1 A	0,15	0,25	0.30	0,40
1 B	0,12	0,20	0.25	0,30
2	0,10	0,15	0.20	0,25
3	0,07	0,10	0.14	0,18

Chapitre V: Méthode statique équivalente

5.4. Calcul de la force sismique totale

ξ = Le (%) d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages donné selon le tableau suivant:

Tableau 4.2 : Valeurs de ξ (%)

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

R : Coefficient de comportement global de la structure

Cat	Description du système de contreventement (voir chapitre III § 3.4)	Valeur de R
A	Béton armé	5
1a	Portiques auto stables sans remplissages en maçonnerie rigide	
1b	Portiques auto stables avec remplissages en maçonnerie rigide	3,5
2	Voiles porteurs	3,5
3	Noyau	3,5
4a	Mixte portiques/voiles avec interaction	5
4b	Portiques contreventés par des voiles	4
5	Console verticale à masses réparties	2
6	Pendule inverse	2

Chapitre V: Méthode statique équivalente

5.4. Calcul de la force sismique totale

Q : facteur de qualité

Le facteur de qualité de la structure est fonction de :

- La redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent
- La régularité en plan et en élévation
- La qualité du contrôle de la construction

La valeur de Q est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_1^6 P_q$$

Tableau 4.4.: valeurs des pénalités P_q

Critère q »	P_q	
	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	0,05
5. Contrôle de la qualité des matériaux	0	0,05
6. Contrôle de la qualité de l'exécution	0	0,10

P_q est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q " est satisfait ou non

Chapitre V: Méthode statique équivalente

5.4. Calcul de la force sismique totale

W : Poids total de la structure: $W = \sum_{i=1}^n W_i$

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

- ✓ W_{Gi} : Poids dû aux charges permanentes;
- ✓ W_{Qi} : charges d'exploitation;
- ✓ β : coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par le tableau suivant.

Tableau 4.5 : valeurs du coefficient de pondération β

Cas	Type d'ouvrage	β
1	Bâtiments d'habitation, bureaux ou assimilés	0,20
2	Bâtiments recevant du public temporairement : - Salles d'exposition, de sport, lieux de culte, salles de réunions avec places debout. - salles de classes, restaurants, dortoirs, salles de réunions avec places assises	0,30 0,40
3	Entrepôts, hangars	0,50
4	Archives, bibliothèques, réservoirs et ouvrages assimilés	1,00
5	Autres locaux non visés ci-dessus	0,60

Chapitre V: Méthode statique équivalente

5.4. Calcul de la force sismique totale

Estimation de la période fondamentale de la structure

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

- La formule empirique à utiliser selon les cas est la suivante: $T = C_t h_N^{3/4}$

h_N : Hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

C_T : Coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage et donné par le tableau suivant:

Tableau 4.6 : valeurs du coefficient C_T

Cas n°	Système de contreventement	C_T
1	Portiques autostables en béton armé sans remplissage en maçonnerie	0,075
2	Portiques autostables en acier sans remplissage en maçonnerie	0,085
3	Portiques autostables en béton armé ou en acier avec remplissage en maçonnerie	0,050
4	Contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en béton armé, des palées triangulées et des murs en maçonnerie	0,050

Dans les cas n° 3 et 4, on peut également utiliser aussi la formule : $T = 0.09h_N/D$

Où: D est la dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée.

Donc : $T = \min(\text{deux périodes})$

Chapitre V: Méthode statique équivalente

5.4. Calcul de la force sismique totale

Estimation de la période fondamentale de la structure: La valeur de **T** peut être calculée avec la formule de Rayleigh ou une version simplifiée de cette formule :

$$T = 2\pi \sqrt{\left(\sum W_i \delta_i^2 \right) / \left(g \sum_i^n f_i \delta_i \right)}$$

f_i : syst de forces horizontales, distribuées selon les formules de répartition de V suivant la verticale.

δ_i : flèches horizontales dues aux forces **f_i** calculées à partir d'un modèle élastique linéaire de la structure qui prend en compte tous les éléments participant à sa rigidité.

Version simplifiée de la formule de Rayleigh :

$$T = 2 \sqrt{\delta_n}$$

δ_N : flèche horizontale au sommet du bâtiment, mesurée en mètres, due aux forces gravitaires appliquées horizontalement.

Les valeurs de T, calculées à partir des formules de Rayleigh ou de méthodes numériques ne doivent pas dépasser celles estimées à partir des formules empiriques appropriées de plus de 30%.

Chapitre V: Méthode statique équivalente

5.4. Calcul de la force sismique totale

Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur: La résultante des forces sismiques à la base V doit être distribuée sur la hauteur de la structure selon les formules suivantes : $V = F_t + \sum F_i$

La force concentrée F_t au sommet de la structure permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration. Elle doit être déterminée par la formule : $F_t = 0,07 T.V$ où T est la période fondamentale de la structure (en secondes). La valeur de F_t ne dépassera en aucun cas $0,25 V$ et sera prise égale à 0 quand T est plus petite ou égale à $0,7$ secondes. La partie restante de V soit $(V - F_t)$ doit être distribuée sur la hauteur de la structure suivant la formule:

$$F_i = \frac{(V - F_t)Wh_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$$

Distribution horizontale des forces sismiques: L'effort tranchant au niveau de l'étage K est:

$$V_k = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$$

5.4. Calcul de la force sismique totale

Effet de la torsion d'axe vertical

L'augmentation de l'effort tranchant provoqué par la torsion d'axe vertical due à l'excentricité entre le centre de gravité et le centre de rigidité doit être prise en compte.

Les efforts tranchants négatifs dus à la torsion devront être négligés.

Pour toutes les structures comportant des planchers ou diaphragmes horizontaux rigides dans leur plan, on supposera qu'à chaque niveau et dans chaque direction, la résultante des forces horizontales a une excentricité par rapport au centre de torsion égale à la plus grande des deux valeurs:

- 5% de la plus grande dimension du bâtiment à ce niveau (cette excentricité doit être prise en considération de part et d'autre du centre de torsion)
- excentricité théorique résultant des plans.