

Dynamique des Structures

Abdellatif MEGNOUNIF

E-mail: abdellatif_megnounif@yahoo.fr

Application 15B

MSE

RPA 2024 Vs RPA 2003

Exemple 15B Samedi 28.12.2024

© **Abdellatif MEGNOUNIF FT-Tlemcen**

Objectif

Le but de cette application est de :

- ❖ **Calculer les réponses dynamiques d'un SPDDL pour des systèmes amortis ou non amortis**
- ❖ **Utilisation de la méthode statique équivalente des RPA 2024.**
- ❖ **Comparaison avec les résultats RPA2003 et ceux de la méthode spectrale.**

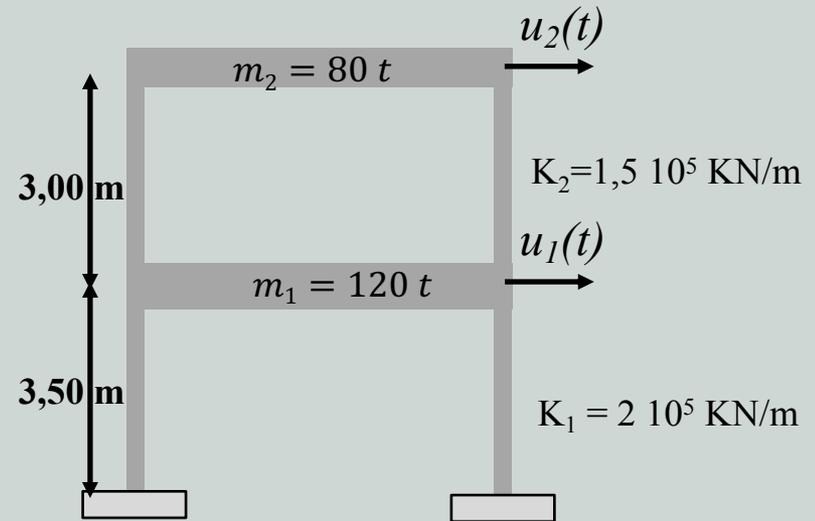
Exemple 1

Même exemple traité en 15)

On donne le portique à 02 niveaux montré en figure ci-contre. La structure sera construite dans une zone sismique (Zone I : Sismicité faible). L'ouvrage est un bâtiment de grande importance. Le type de sol est ferme. Prendre $\xi = 5 \%$

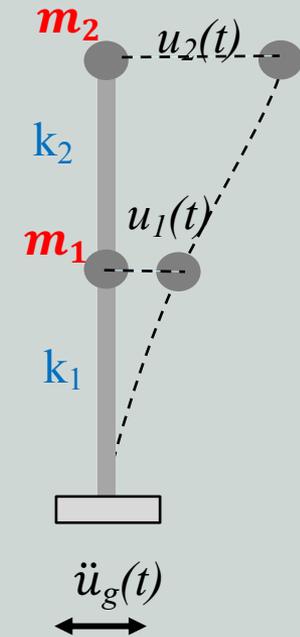
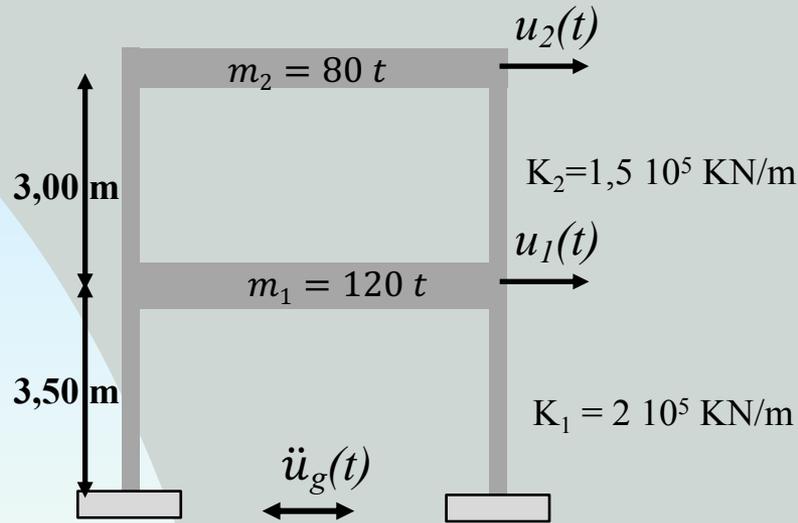
L'exemple a été traité en application 15) par la méthode spectrale et RPA2003. On veut :

- i) Recalculer les efforts maxima induits par le séisme en utilisant la méthode statique équivalente des RPA 2024 pour les comparer avec ceux des RPA2003 et Méthode spectrale.



Solution

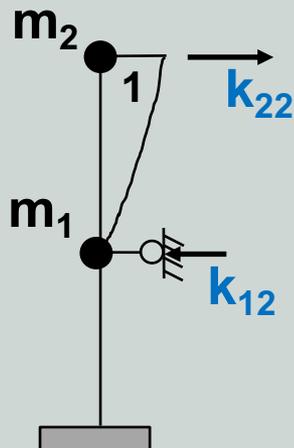
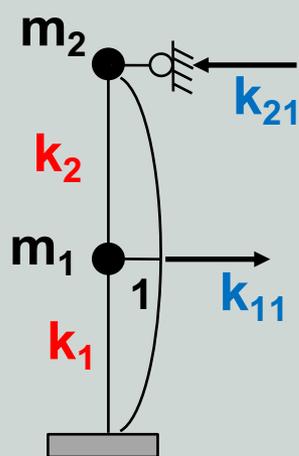
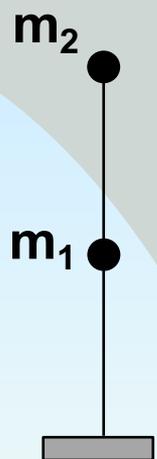
Notre cas ?



- ✓ Poutre très rigide.
- ✓ Masse totale concentrée sur chaque plancher.
- ✓ Poteaux sans masses et ne se déforment pas verticalement, ni rotationnellement.
- ✓ Seuls DDLs, possibilité de flexion des poteaux, de façon dépendante entre les 02 niveaux.

Solution

Matrices ? (Attention à l'ordre de la numérotation)



$$[K] = \begin{bmatrix} 3,5 & -1,5 \\ -1,5 & 1,5 \end{bmatrix} 105 \text{ KN/m}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 120 & 0 \\ 0 & 80 \end{bmatrix} (t)$$

Calcul des fréquences et modes propres de vibration ?

Solutions :

$$(K - \omega^2 M)\{\phi\} = 0 \quad \det|K - \omega^2 M| = 0$$

$$\lambda_1 = \omega_1^2 = 778,732 \quad \mathbf{D'o\grave{u}} : \omega_1 = 27,906 \frac{rd}{s} \quad T_1 = 0,225 \text{ s}$$

$$\lambda_2 = \omega_2^2 = 4012,935 \quad \mathbf{D'o\grave{u}} : \omega_2 = 63,348 \frac{rd}{s} \quad T_2 = 0,099 \text{ s}$$

Finalemnt

	F ₁ (KN)	F ₂ (KN)	V(KN)	M _f (KN.m)
M. Spectrale	67,6	75,6	143,2	728
MSE (RPA 2003)	54,79	67,835	122,625	632,693

**La méthode
statique
équivalente ?**

RPA 2024

2003

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



2024

$$V = \lambda \cdot \frac{S_{ad}}{g} (T_0) \cdot W$$

Avec:

$\frac{S_{ad}}{g} (T_0)$: Ordonnée du spectre de calcul pour la période (T_0) (Voir 4.iii.c)

T_0 : Période fondamentale du bâtiment, pour le mouvement de translation dans la direction considérée (voir ci-après : estimation de la période fondamentale)

λ : Coefficient de correction

$$\lambda = \begin{cases} 0.85 & \text{si } T_0 \leq (2 \cdot T_2) \text{ et si le bâtiment a plus de 02 niv} \\ 1 & \text{Autrement} \end{cases}$$

W : Poids sismique total du bâtiment.

(17C.2)

$$V = \lambda \cdot \frac{S_{ad}}{g} (T_0) \cdot W$$

$$\frac{S_{ad}}{g} (T_0) ?$$



$$\ll T_0 \gg ?$$

Formule empirique ou méthodes analytiques

Empirique

$$T_{empirique} = C_T h_N^{3/4}$$

- ✓ h_N : Hauteur mesurée en (m) 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 donné par le tableau

Cas	Système de contreventement	C_T
1	Ossatures spatiales en BA sans remplissage en maçonnerie	0,075
2	Portiques spatiaux en acier sans remplissage en maçonnerie	0,085
3	Ossatures en portiques en BA ou en acier avec remplissage en maçonnerie	0,050
4	Autres types de structures	0,050

Pour notre exemple

$$C_T = 0.075 \quad \text{et} \quad h_N = 6.50 \text{ m}$$

$$\text{D'où :} \quad T_{empirique} = 0.075 \cdot 6.5^{3/4}$$

$$T_{empirique} = 0.305 \text{ s}$$

$$T_{calculée} = 0.225 \text{ s}$$

$$V = \lambda \cdot \frac{S_{ad}}{g} (T_0) \cdot W$$

MSE ?

« T_0 » ?

Cas	Valeur T_0 à utiliser
$T_{\text{calcul}} < 1.3 T_{\text{empirique}}$	$T_0 = T_{\text{calcul}}$
$T_{\text{calcul}} \geq 1.3 T_{\text{empirique}}$	$T_0 = 1.3 T_{\text{empirique}}$

Pour notre exemple

Avec $T_{\text{calculée}} = 0.225 \text{ s}$ et $T_{\text{empirique}} = 0.305 \text{ s}$

D'où : $1.3 T_{\text{empirique}} = 1.3 \times 0.305 = 0.3965 > T_{\text{calcul}} = 0.225$

On prend :

$$T_0 = T_{\text{calcul}} = 0.225 \text{ s}$$

$$V = \lambda \cdot \frac{S_{ad}}{g} (T_0) \cdot W$$

$$V = \lambda \cdot \frac{S_{ad}}{g} (T_0) \cdot W$$

λ : Coefficient de correction

$$\lambda = \begin{cases} 0.85 & \text{si } T_0 \leq (2 \cdot T_2) \text{ et si le batiment a plus de 02 niv} \\ 1 & \text{Autrement} \end{cases}$$

T_1 ; T_2 et T_3 : périodes caractéristiques associées à la catégorie du site

Pour notre exemple

Zone sismique = I

D'où :

Spectre de type 2.

Site = S2

Type 2

Zones I, II et III

Site	S	T1(s)	T2(s)	T3(s)
S1	1,00	0,05	0,25	1,20
S2	1,30	0,05	0,30	1,20
S3	1,55	0,10	0,40	1,20
S4	1,80	0,10	0,50	1,20

Site ferme S2

$T_1 = 0.05 \text{ s}$

$T_2 = 0.30 \text{ s}$

$T_3 = 1.20 \text{ s}$

Coef. Site $S = 1.30$

$T_0 = 0.225 < (2 \cdot T_2) = 0.60$

Mais : 02 niv

D'où :

$$\lambda = 1$$

$$V = \lambda \cdot \frac{S_{ad}}{g} (T_0) \cdot W$$

$$W = \sum_{i=1}^n W_i$$

- ✓ W_{Gi} : Poids dus aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure
- ✓ W_{Qi} : Charges d'exploitation
- ✓ ψ : Coefficient d'accompagnement, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation donné par la tableau

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

Cas	Type d'ouvrage	ψ
1	Bâtiments d'habitation, bureaux ou assimilés	0,20
2	Bâtiments recevant du public temporairement:	
2a	✓ Salles d'exposition, de sport, lieux de culte, salles de réunions avec places debout	0,30
2b	✓ Salles de classes, restaurants, dortoirs, salles de réunions avec places assises	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

Pour notre exemple

Simple

$$W = (m_1 + m_2)g = (120 + 80) 9,81$$

$$W = 1962 \text{ KN}$$

$$V = \lambda \cdot \frac{S_{ad}}{g} (T_0) \cdot W$$

$$\frac{S_{ad}}{g} = \begin{cases} A I S \left(\frac{2}{3} + \frac{T}{T_1} \left(2.5 \frac{Q_F}{R} - \frac{2}{3} \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ A I S \left(2.5 \frac{Q_F}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ A I S \left(2.5 \frac{Q_F}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right) & T_2 \leq T \leq T_3 \\ A I S \left(2.5 \frac{Q_F}{R} \right) \left(\frac{T_2 T_3}{T^2} \right) & T_3 \leq T \leq 4.0 s \end{cases}$$

Les valeurs du spectre de calcul ne doivent pas être inférieures à (0.2 A.I)

Avec: $T_1 = 0.05 s$ $T_2 = 0.30 s$ $T_3 = 1.20 s$ et $T_0 = T_{calcul} = 0.225 s$

On aura $0.05 \leq 0.225 \leq 0.30$ $T_1 \leq T \leq T_2$

D'où :

$$\frac{S_{ad}}{g} = A I S \left(2.5 \frac{Q_F}{R} \right)$$

$$V = \lambda \cdot \frac{S_{ad}}{g} (T_0) \cdot W$$

Avec:

$$\frac{S_{ad}}{g} = A I S \left(2.5 \frac{Q_F}{R} \right)$$

A: coef. D'accélération de zone

I : coef. D'importance

Bâtiment de grande importance : **Gr 1B**

Zone	Niveau	A
0	Très faible	/
I	Faible	0.07
II	Faible à moyen	0.10
III	Moyen	0.15
IV	Moyen à élevée	0.20
V	Elevée	0.25
VI	Elevée	0.30

Importance	Groupe d'importance			
	1A	1B	2	3
I	1,40	1,20	1,0	0,80

R : Facteur de comportement

Système à ossature : **R = 5,5^(a)** Catégorie (a)

Q_F : Facteur de qualité

$$Q_F = 1 + \sum_1^5 P_q$$

Q_F = 1,10

Cat	Critère q	P _q	
		Observé	Non observé
(a)	<ol style="list-style-type: none"> Régularité en plan Régularité en élévation Conditions minimales sur le nombre étage. La structure doit comporter au moins 02 niveaux Conditions minimales sur les travées. La structure doit présenter, à chaque niveau, au minimum 03 travées. 	<p>0</p> <p>0</p> <p>0</p> <p>0</p>	<p>0,05</p> <p>0,20</p> <p>0,20</p> <p>0,10</p>

$$V = \lambda \cdot \frac{S_{ad}}{g} (T_0) \cdot W$$

Ainsi:

$$\frac{S_{ad}}{g} = A I S \left(2.5 \frac{Q_F}{R} \right)$$

Avec:

$$A = 0.07 \quad I = 1.20 \quad S = 1.30 \quad Q_F = 1.10 \quad R = 5.50$$

On aura

$$\frac{S_{ad}}{g} = 0.07 \times 1.20 \times 1.30 \left(2.5 \frac{1.10}{5.50} \right)$$

$$\frac{S_{ad}}{g} = 0,0546$$

Or

$$\frac{S_{ad}}{g} = 0,0546 > 0.2 A I = 0.0168$$

Finalement

$$V = \lambda \cdot \frac{S_{ad}}{g} (T_0) \cdot W$$

$$V = 1.0 \times 0,0546 \times 1962$$

$$V = 107.125 \text{ KN}$$

Solution

Distribution suivant la hauteur

$$V = F_t + \sum F_i$$

F_t

Pour tenir compte de l'influence des modes supérieurs

Avec $F_t = 0,07 T V \leq 0,25 V$ Pour : $T \geq 0,7 s$

$F_t = 0$ Pour : $T \leq 0,7 s$ $T_0 = 0,225 s$

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

avec $W_1 = 120 \times 9,81 = 1177,2 \text{ KN}$ $h_1 = 3,5 \text{ m}$

$W_2 = 80 \times 9,81 = 784,8 \text{ KN}$ $h_2 = 6,5 \text{ m}$

$$\sum_{j=1}^n W_j h_j = 1177,2 \times 3,5 + 784,8 \times 6,5 = 9221,4 \text{ KN.m}$$

$$F_1 = \frac{(V - F_t)W_1 h_1}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} = \frac{(107.125 - 0) \times 1177,2 \times 3,5}{9221,4} = 47.864 \text{ KN}$$

$$F_2 = \frac{(V - F_t)W_2 h_2}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} = \frac{(107.125 - 0) \times 784,8 \times 6,5}{9221,4} = 59.261 \text{ KN}$$

Solution

$$F_1 = 47,865 \text{ KN}$$

$$F_2 = 59,261 \text{ KN}$$

Le moment de flexion

$$\{M_f\} = F_{s1} h_1 + F_{s2} h_2 \quad M_f = 47,865 \times 3,5 + 59,261 \times 6,5 = 552,724 \text{ KN.m}$$

Récapitulatif

	F ₁ (KN)	F ₂ (KN)	V(KN)	M _f (KN.m)
M. Spectrale	67,6	75,6	143,2	728
MSE (RPA2003)	54,79	67,835	122,625	632,693
MSE (RPA2024)	47.865	59.261	107.125	552,724
Diff (2024/2003)			- 12.64 %	

Comparaison

- MSE : 01 seul mode et Spectrale : 02 modes. Spectrale > MSE
- 1^{er} mode contribue à 85%
- La différence dans les forces entre les 02 est équilibrée par le comportement ductile qui est fourni par les détails de construction de l'élément.
- C'est pour cela que l'utilisation de la MSE 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 majeurs.
- MSE RPA2024. > MSERPA2003 (Une diminution de 12.64 % dans l'effort à la base).
- Conclusion valable pour cet exemple. A généraliser par d'autres exemples plus réaliste.

Merci. Fin de l'Application 15B