

Dynamique des Structures

Abdellatif MEGNOUNIF

E-mail: abdellatif_megnounif@yahoo.fr

Partie 4: Calcul d'une structure en Béton Armé.

Chapitre 06B

Analyse – Analyse Modale Spectrale

Cours 06B Samedi 17.01.2026



1. Introduction

- ✓ L'objectif de ce chapitre est de calculer l'effort tranchant à la base par la méthode spectrale et la comparer avec l'effort tranchant à la base calculé par la MSE.
- ✓ Dans la méthode spectrale, la force extérieure est appliquée sous forme d'excitation du support représentée par un spectre d'accélération (spectre de calcul donné par les RPA2024).
- Concerne donc le calcul des structures soumises à un tremblement de terre.
- La méthode constitue la base de calcul sismique des structures dans le cas de structures particulières (là où les méthodes statiques équivalentes ne peuvent pas être appliquées).
- La démarche repose sur une analyse modale en superposant les réponses obtenues à partir d'un spectre spécifique.
- ✓ Cette analyse est très importante pour la détermination des efforts internes (N, M et V), les déplacements et l'effort tranchant à la base.

**Finalité : Calcul des déplacements
et efforts internes**



2. Méthodes de calcul

03 grandes méthodes pour la résolution des SPDDL à excitation du support

Méthodes dynamiques

- ❖ Superposition modale.
- ❖ **Spectrale.**
- ❖ Pas à pas
- ❖ Méthodes de résolution non linéaires

Méthode qui nous intéresse dans les calculs numériques (ROBOT, SAP, ETABS...)

Méthodes statiques

- ❖ **Méthode statique linéaire équivalente**
- ❖ Méthode statique non linéaire. (Procédures basées sur la méthode Push over)

Méthode utilisée dans les RPA

Méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes
Détaillée (Chap 3.3.4)

3. Rappel de calcul d'une réponse due à l'excitation du support

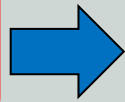
Equation de mouvement générale

$$M \ddot{U} + C \dot{U} + K U = -M \ddot{U}_g$$

U: déplacement relatif

\ddot{U}_g : Accélération du support

En passant par une solution de décomposition modale, on découple le système avec : $U = \Phi Y$



$$\ddot{y}_n + 2\xi_n \omega_n \dot{y}_n + \omega_n^2 y_n = \frac{P_n}{M_n}$$

Avec : $p(t) = -M \ddot{U}_g$
 $P_n = \phi_n^T p(t)$

$$M_n = \phi_n^T M \phi_n$$

$$C_n = \phi_n^T C \phi_n \quad \frac{C_n}{M_n} = 2\xi_n \omega_n \quad \text{et} \quad \frac{K_n}{M_n} = \omega_n^2$$

$$K_n = \phi_n^T K \phi_n$$

$$P_n = \phi_n^T p(t)$$

En posant $\Gamma_n = \phi_n^T M \{\Delta\}$ Γ_i : Facteur de participation modale

On aura:

$$\ddot{y}_n + 2\xi_n \omega_n \dot{y}_n + \omega_n^2 y_n = -\Gamma \ddot{u}_g$$

Système d'équations linéaires découplées

Pour des modes propres normalisés

$$\Gamma_i = \sum_{j=1}^n m_j \phi_{ji}$$

Pour le cas général

$$\Gamma_n = \frac{\phi_n^T M \{\Delta\}}{\phi_n^T M \phi_n}$$

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^n m_j \phi_{ji}}{\sum_{j=1}^n m_j \phi_{ji}^2}$$



3. Rappel de calcul d'une réponse due à l'excitation du support

**Solution
temporelle**

$$\ddot{y}_n + 2\xi_n \omega_n \dot{y}_n + \omega_n^2 y_n = -\Gamma \ddot{u}_g$$

**Système d'équations
linéaires découplées**

En posant $y_j(t) = \Gamma_j q_j(t)$ **On aura:** $U_j = \phi_j y_j = \Gamma_j \phi_j q_j(t)$

$q_j(t)$ **est solution de l'équation** $\ddot{q}_j + 2\xi_j \omega_j \dot{q}_j + \omega_j^2 q_j = -\ddot{u}_g$

Une fois la réponse $q_j(t)$ **de chaque mode connue, le déplacement total sera:**

$$U(t) = \sum_{j=1}^n U_j = \sum_{j=1}^n \Gamma_j \phi_j q_j(t)$$

Les efforts

$$F_k(t) = \sum_{j=1}^n F_{kj} = \sum_{j=1}^n \Gamma_j \omega_j^2 M \phi_j q_j(t)$$

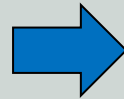
3. Rappel de calcul d'une réponse due à l'excitation du support

Calcul des valeurs maximales de la réponse

Valeur maximale par mode

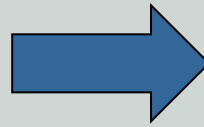
$$\ddot{q}_j + 2\xi_j\omega_j\dot{q}_j + \omega_j^2q_j = -\ddot{u}_g$$

Solution de « $q_j(t)$ » par l'intégrale de Duhamel



$$q_j(t) = -\frac{1}{\omega_{aj}} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi\omega_j(t-\tau)} \sin(\omega_{aj}(t-\tau)) d\tau$$

Généralement, on n'a pas besoin de toute la réponse due à l'excitation, seul le maximum est intéressant:



On utilisera donc des spectres de réponse directement (Voir chapitre 7).

Le déplacement maximal

$$U_{jmax} = \phi_j y_{jmax} = \Gamma_j \phi_j q_{jmax}(t) = \Gamma_j \phi_j S_D(\omega_j, \xi_j)$$

Et l'effort maximal

$$F_{kjmax} = \Gamma_j \omega_j^2 M \phi_j q_{jmax}(t) = \Gamma_j \omega_j^2 M \phi_j S_D(\omega_j, \xi_j) = \Gamma_j M \phi_j S_A(\omega_j, \xi_j)$$

Spectre de réponse en déplacement

$$S_D(\omega_j, \xi_j) = \max \left[-\frac{1}{\omega_{aj}} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi\omega_j(t-\tau)} \sin(\omega_{aj}(t-\tau)) d\tau \right]$$

spectre de réponse en pseudo-accélération

$$S_A(\omega_j, \xi_j) = \omega_j^2 S_D(\omega_j, \xi_j)$$

3. Rappel de calcul d'une réponse due à l'excitation du support

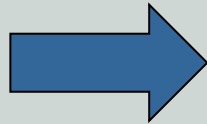
Calcul des valeurs maximales de la réponse

Valeur maximale de la réponse totale

Une fois les réponses maximales par mode sont calculées, on calcul la réponse maximale totale par superposition

Plusieurs méthodes

Somme des valeurs absolues (AVS)
(Généralement surestime
(Borne supérieure))



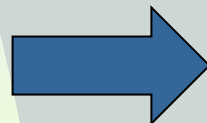
Déplacement maximal

$$u_{imax} = \sum_{j=1}^n |\Gamma_j \phi_{ij} S_{Dj}|$$

Accélération maximale

$$\ddot{u}_{imax} = \sum_{j=1}^n |\Gamma_j \phi_{ij} S_{Aj}|$$

Racine carrée de la somme des carrés (SRSS) (Sous estime ou surestime dans le cas de modes très proches ($\omega_i/\omega_j \in [0.9; 1.1]$ 10%))



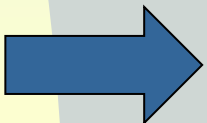
Déplacement maximal

$$u_{imax} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\Gamma_j \phi_{ij} S_{Dj})^2}$$

Accélération maximale

$$\ddot{u}_{imax} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\Gamma_j \phi_{ij} S_{Aj})^2}$$

Combinaison quadratique complète (CQC)



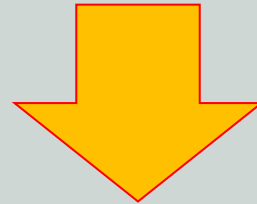
Réponse maximale

$$R = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_j \rho_{ij} R_i}$$

Avec

$$\rho_{ij} = \frac{8(\xi)^2(1+r)r^{3/2}}{(r^2-1)^2 + 4\xi^2r(1+r)^2 + 8\xi^2r^2}$$

**Effort tranchant
à la base par la
méthode
spectrale**

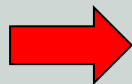


Il faut calculer l'effort tranchant à la base par la méthode spectrale et le comparer à celui calculé par la MSE

4. Analyse spectrale

On commence par définir le spectre

Spectre



Logiciel EXCEL

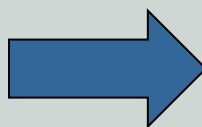
N'importe quel logiciel disponible pour construire un spectre de calcul RPA2024, à partir des données du problème

Données

Avec

- ✓ Zone : II
- ✓ Groupe : 2
- ✓ Site : S2
- ✓ R : 5,5
- ✓ Qf : 1,1
- ✓ Amortissement : 6%

On obtient un fichier .txt qu'on introduit dans le robot

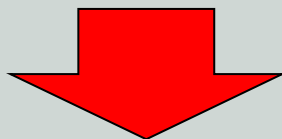


RPA2024

Supprimer la 1^{ère} ligne

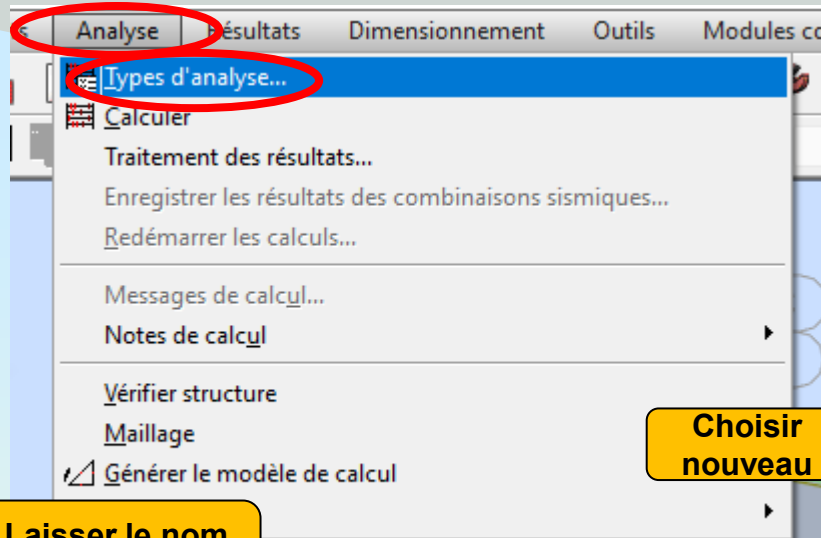
Fichier	Modifier	Affichage
Période (s) Sad/g(T)		
0.000	0.086667	
0.010	0.082322	
0.020	0.077978	
0.030	0.073634	
0.040	0.069290	
0.050	0.065000	
0.060	0.065000	
0.070	0.065000	
0.080	0.065000	
0.090	0.065000	
0.100	0.065000	
0.110	0.065000	

On introduit le fichier dans ROBOT



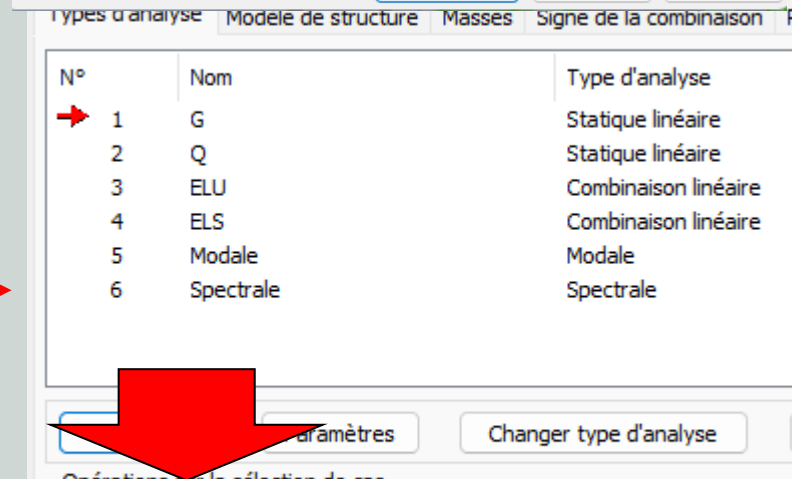
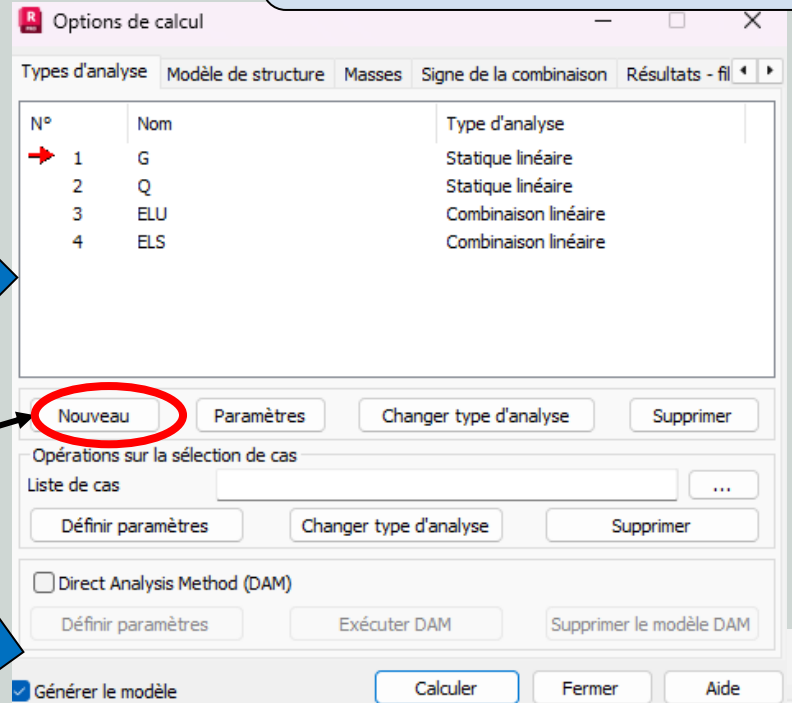
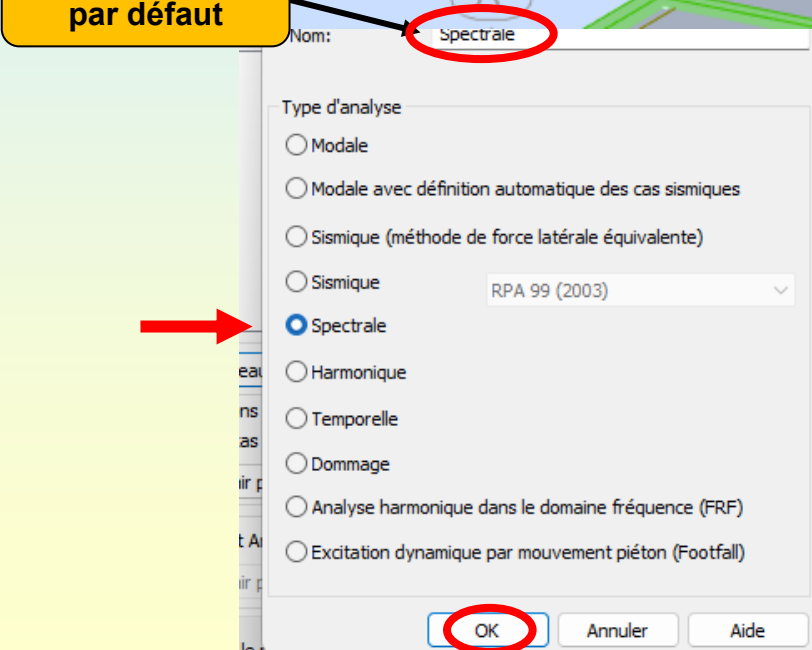
4. Analyse spectrale

On commence par définir le cas d'analyse spectral (**Analyse/Types d'analyse/spectral**)



Laisser le nom par défaut

Choisir nouveau



On introduit le spectre

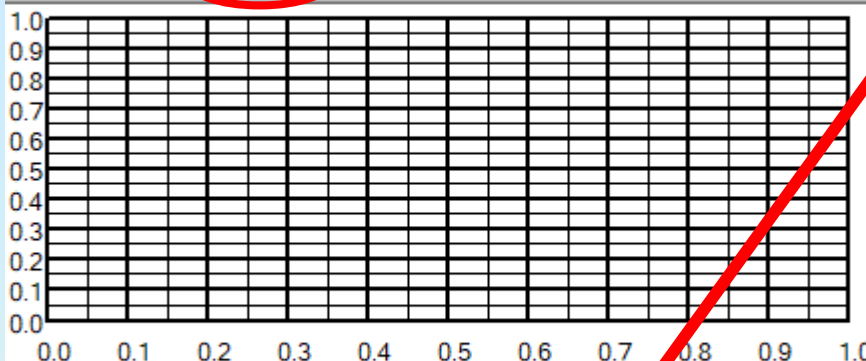
4. Analyse spectrale

Vérifier cas de charge

On introduit le spectre

Paramètres de l'analyse spectrale

as: Spectrale



Spectres définis

N°	Nom
----	-----

Spectres sélectionnés pour les calculs

Spec 1
Nom du spectre
Amortissement 0

Prise de la moyenne automatique pour les spectres

Définition de l'excentrement
Définition de la direction

Mode résiduel

OK Annuler Aide Filtes

Définition du spectre

Appuyer

Définition du spectre

Donner un nom au spectre

Valeur de l'amortissement à introduire

0.06

Ajouter

Ajouter

Spectre

Nom spectre: Spectre

Amortissement: 0.06 (-)

Ajouter Supprimer Modifier

Spectres définis

N°	Nom
1	Spectre

Abscisse (axe X)

Echelle logarithmique

Période

Pulsation

Fréquence

Ordonnée (axe Y)

Echelle logarithmique

Vitesse

Accélération

Déplacement

Abscisse

Eche

Période

Puls

Fréc

Ordonn

Eche

Vites

Accé

4. Analyse spectrale

Importation du fichier .txt

Définition du spectre

Spectre Points Interpolation des spectres

Nom du spectre: Spectre

Amortissement: 0.06 (-)

Abscisse (axe X)

- Echelle logarithmique
- Période
- Pulsation
- Fréquence

Ordonnée (axe Y)

- Echelle logarithmique
- Vitesse
- Accélération
- Déplacement

N°	Nom
1	Spectre

Enregistrer Ouvrir Fermer Aide

Définition des points

Nom du spectre: Spectre

X: 0 Y: 0

N°	X	Y
----	---	---

Sa(T) <-- F(t)

Ajouter Supprimer Modifier Ouvrir Fermer Aide

Ouvrir

Regarder dans : Cours_DDS_BA

Nom
DDS_Chap01_CalculBA_Procedure_De
DDS_Chap02_CalculBA_Predimension
DDS_Chap03_CalculBA_Dessin_Jan202
DDS_Chap04_CalculBA_ChargeStatiqu
DDS_Chap05_CalculBA_AnalyseModal
DDS_Chap06_CalculBA_AnalyseSpectr
essai
essai
Note_Calcul
RPA 2024-Version Finale
spectre_R3

Type : Document texte
Taille : 6,25 Ko
Modifié le : lundi 19 janvier 20

Fichier importé

4. Analyse spectrale

Fichier importé

Définition du spectre

9e-2 Accélération (m/s²)

8e-2

7e-2

6e-2

5e-2

4e-2

3e-2

2e-2

0 1 2 3 4 Période (s)

Spectre Points Interpolation des sp

Nom du spectre

Définition des points

Nom du spectre **Spectre**

X 0 Y 0,086667

Sa(T) <-- F(t)

Ajouter

Supprimer

Modifier

Ouvrir

N°	X	Y
→ 1	0,00	0,09
2	0,01	0,08
3	0,02	0,08
4	0,03	0,07
5	0,04	0,07

Fermer Aide

Paramètres de l'analyse spectrale

Cas: Spectrale

9e-2 Accélération (m/s²)

8e-2

7e-2

6e-2

5e-2

4e-2

3e-2

2e-2

0 1 2 3 4 Période (s)

Spectres définis

N°	Nom
→ 1	Spectre

Spectres sélectionnés pour les calculs

Spectre 1

Nom du spectre

Amortissement 0

→

Nom du spectre **Spectre**

Amortissement **0.06**

Définition de l'excentrement

Définition de la direction

Mode résiduel

OK Annuler Aide Filtres

Après sélection du spectre, appuyer sur la flèche pour l'importer vers Robot

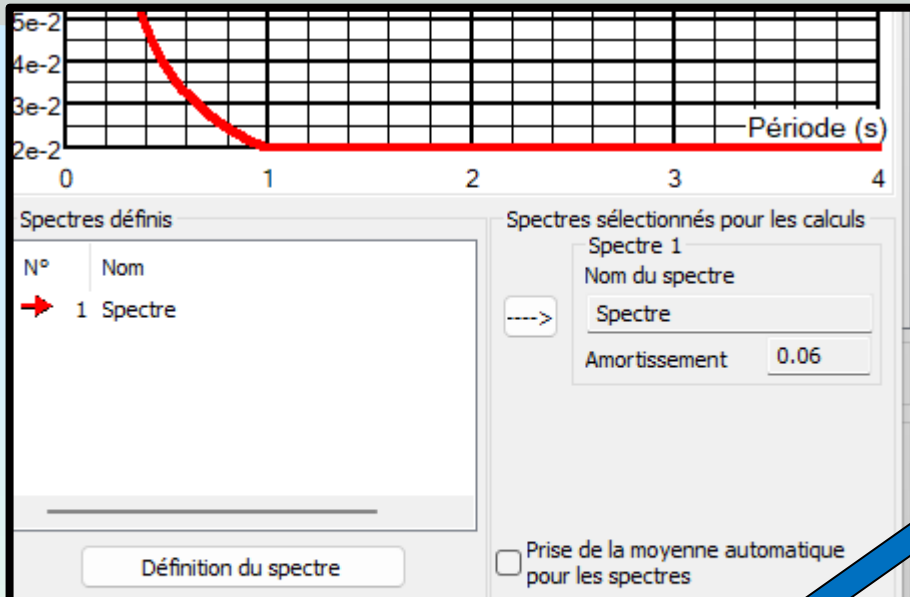
Appliquer l'excitation sur X puis sur Y



4. Analyse spectrale

Appliquer l'excitation sur X puis sur Y

Suivant X



This dialog box is titled 'Définition des excentrements de masse'. It has two radio buttons: 'Valeurs totales' (unselected) and 'Valeurs relatives' (selected). Below, there are two rows for 'Excentrement (%)': 'Direction X' with a value of 0.00 and 'Direction Y' with a value of 5.0. The 'Direction Y' row is highlighted in green. At the bottom, there are 'OK' and 'Annuler' buttons.

Excentrement de 5% suivant Y

L'excentrement est dans le sens opposé à l'excitation (Y)

Définir l'excentrement

Définition de l'excentrement

Définition de la direction

Définir la direction de l'excitation

This dialog box is titled 'Direction'. It has a table for 'Normalisées' values:

	Normalisées	
X:	10	0,9950
Y:	0	0
Z:	0	0,0995

The 'Z' row is highlighted in green. Below the table, there is a checkbox 'Utiliser valeurs normalisées' (unchecked). At the bottom, there are 'OK', 'Annuler', and 'Aide' buttons.

Suivant X seulement, en multipliant par « g=10 » pour revenir à Sa

Changer le nom du cas de charge



4. Analyse spectrale

Changer le nom du cas de charge

Suivant X

N°	Nom	Type d'analyse
1	G	Statique linéaire
2	Q	Statique linéaire
3	ELU	Combinaison linéaire
4	ELS	Combinaison linéaire
5	Modale	Modale
6	Spectrale Dir. - masses_X	Spectrale

Changer le nom en « Ex »

Cas:
Spectrale Dir. - masses_X

Cas:
Ex

1	G	Statique linéaire
2	Q	Statique linéaire
3	ELU	Combinaison linéaire
4	ELS	Combinaison linéaire
5	Modale	Modale
6	Ex	Spectrale



Même chose suivant Y

4. Analyse spectrale

On recommence la même chose suivant Y

Suivant
Y

N°	Nom	Type d'analyse
1	G	Statique linéaire
2	Q	Statique linéaire
3	ELU	Combinaison linéaire
4	ELS	Combinaison linéaire
5	Modale	Modale
6	Ex	Spectrale

Nouveau Paramètres Changer type d'analyse

Opérations sur la sélection de cas

Liste de cas

Choisir nouveau

Laisser le nom par défaut

Définition d'un nouveau cas

Nom: Spectrale

Type d'analyse

- Modale
- Modale avec définition automatique des cas sismiques
- Sismique (méthode de force latérale équivalente)
- Sismique RPA 99 (2003)
- Spectrale
- Harmonique
- Temporelle
- Domage
- Analyse harmonique dans le domaine fréquence (FRF)
- Excitation dynamique par mouvement piéton (Footfall)

OK Annuler Aide

Options de calcul

Types d'analyse Modèles de structure Masses Signe de la combinaison

N°	Nom	Type d'analyse
1	G	Statique linéaire
2	Q	Statique linéaire
3	ELU	Combinaison linéaire
4	ELS	Combinaison linéaire
5	Modale	Modale
6	Spectrale	Spectrale

Nouveau Paramètres Changer type d'analyse

Opérations sur la sélection de cas

Liste de cas

Définir paramètres Changer type d'analyse

On introduit le spectre

4. Analyse spectrale

Vérifier cas de charge

On introduit le spectre

Suivant
Y

Paramètres de l'analyse spectrale

as: Spectrale

Spectres définis

N°	Nom
----	-----

Spectres sélectionnés pour les calculs

Spec 1
Nom du spectre
Amortissement 0

Prise de la moyenne automatique pour les spectres

Définition de l'excentrement

Définition de la direction

Mode résiduel

OK Annuler Aide Filtes

Définition du spectre

Spectre

Amortissement: 0.06 (-)

Ajouter Supprimer Modifier

Spectres définis

N°	Nom
----	-----

Ajouter

Abscisse (axe X)

- Echelle logarithmique
- Période
- Pulsation
- Fréquence

Ordonnée (axe Y)

- Echelle logarithmique
- Vitesse
- Accélération
- Déplacement

Nom spectre: Spectre

Amortissement: 0.06 (-)

Ajouter Supprimer Modifier

N°	Nom
1	Spectre

4. Analyse spectrale

Importation du fichier .txt

Suivant
Y

Définition du spectre

Nouveau menu

Appuyer sur « Points »

Spectre Points Interpolation des spectres

Spectres définis

Nom spectre: Spectre

Amortissement: 0.06 (-)

Ajouter Supprimer Modifier

N°	Nom
1	Spectre

Enregistrer Ouvrir

Abscisse (axe X)

Echelle logarithmique

Période

Pulsation

Fréquence

Ordonnée (axe Y)

Echelle logarithmique

Vitesse

Accélération

Déplacement

Fermer Aide

Spectre Points Interpolation des spectres

Définition des points

Nom du spectre: Spectre

X: 0 Y: 0

Sa(T) <-- F(t)

Ajouter

Supprimer

Modifier

Ouvrir

Fermer Aide

Ouvrir

Regarder dans : Cours_DDS_BA

Nom

- DDS_Chap01_CalculBA_Procedure_De
- DDS_Chap02_CalculBA_Predimension
- DDS_Chap03_CalculBA_Dessin_Jan202
- DDS_Chap04_CalculBA_ChargeStatiqu
- DDS_Chap05_CalculBA_AnalyseModal
- DDS_Chap06_CalculBA_AnalyseSpectr
- essai
- essai
- Note_Calcul
- RPA 2024-Version Finale
- spectre_R3**

Type : Document texte
Taille : 6,25 Ko
Modifié le : lundi 19 janvier 20

Fichier importé

4. Analyse spectrale

Fichier importé

Suivant
Y

R Définition du spectre

9e-2 Accélération (m/s²)

8e-2

7e-2

6e-2

5e-2

4e-2

3e-2

2e-2

0 1 2 3 4 Période (s)

Spectre Points Interpolation des sp

Nom du spectre

Définition des points

Nom du spectre **Spectre**

X 0 Y 0,086667

Sa(T) <-- F(t)

Ajouter

Supprimer

Modifier

Ouvrir

N°	X	Y
→ 1	0,00	0,09
2	0,01	0,08
3	0,02	0,08
4	0,03	0,07
5	0,04	0,07

Fermer Aide

R Paramètres de l'analyse spectrale

Cas: Spectrale

9e-2 Accélération (m/s²)

8e-2

7e-2

6e-2

5e-2

4e-2

3e-2

2e-2

0 1 2 3 4 Période (s)

Spectres définis

N°	Nom
→ 1	Spectre

Spectres sélectionnés pour les calculs

Spectre 1

Nom du spectre

Amortissement 0

→

Nom du spectre **Spectre**

Amortissement **0.06**

Définition de l'excentrement

Définition de la direction

Mode résiduel

OK Annuler Aide Filtres

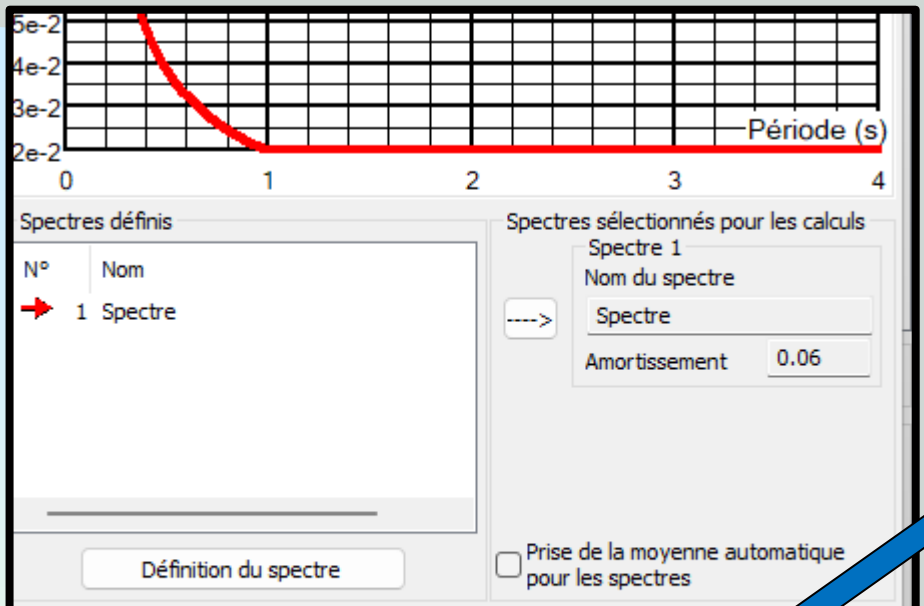
Après sélection du spectre, appuyer sur la flèche pour l'importer vers Robot

Appliquer l'excitation sur Y

4. Analyse spectrale

Appliquer l'excitation sur sur Y

Suivant Y



Définition des excentres de masse

Valeurs totales
 Valeurs relatives

Direction X Excentrement **5** (%)
 Direction Y 0,00 (%)

Les calculs seront effectués selon la méthode simplifiée

 Annuler

Excentrement de 5% suivant X

L'excentrement est dans le sens opposé à l'excitation (Y)

Définir l'excentrement

Définition de l'excentrement
Définition de la direction

Définir la direction de l'excitation

Direction

Direction	Normalisées
X: 0	0
Y: 10	0,9950
Z: 0	0,0995

Utiliser valeurs normalisées
 Décomposer suivant directions
 Active

 Annuler Aide

Suivant Y seulement, en multipliant par « g=10 » pour revenir à Sa

Changer le nom du cas de charge



4. Analyse spectrale

Changer le nom du cas de charge

Suivant
Y

N°	Nom	Type d'analyse
1	G	Statique linéaire
2	Q	Statique linéaire
3	ELU	Combinaison linéaire
4	ELS	Combinaison linéaire
5	Modale	Modale
6	Ex	Spectrale
7	Spectrale Dir. - masses_X	Spectrale
8	Spectrale Dir. - masses_Y	Spectrale

Buttons: Nouveau, Paramètres, Changer type d'analyse, Supprimer

Changer le nom en « Ex »

Cas: Spectrale Dir. - masses_Y

Double cliquer

N°	Nom	Type d'analyse
1	G	Statique linéaire
2	Q	Statique linéaire
3	ELU	Combinaison linéaire
4	ELS	Combinaison linéaire
5	Modale	Modale
6	Ex	Spectrale
8	Ey	Spectrale

Buttons: Nouveau, Paramètres, Changer type d'analyse, Supprimer

Opérations sur la sélection de cas

Liste de cas

Buttons: Définir paramètres, Changer type d'analyse, Supprimer

Direct Analysis Method (DAM)

Buttons: Définir paramètres, Exécuter DAM, Supprimer le modèle DAM

Générer le modèle

Buttons: Calculer, Fermer, Aide

On peut lancer les calculs

En cas de non erreurs /Avertissements

**Résultante des
forces
sismiques à la
base**

Comparaison

**Résultante des
forces sismiques de
calcul (§ 4.3.5)**

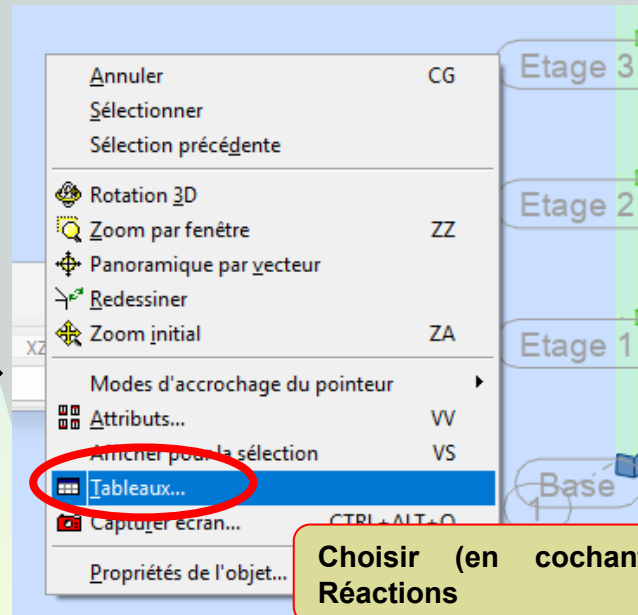
**Récupérer les résultats et
déterminer les efforts tranchants
à la base V_x et V_y**

5. Vérification de la résultante des forces sismiques à la base

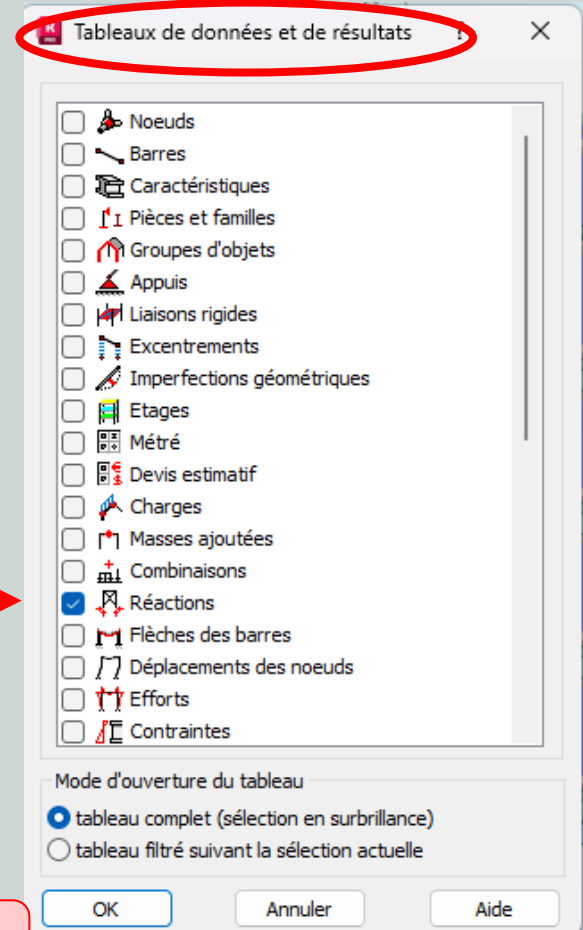
Suivant
X

Après calcul, on peut déterminer la résultante des forces sismiques à la base V_x et V_y et les comparer à celle de la MSE(**Résultats/Réactions**)

Double cliquer sur l'écran principal



Choisir (en cochant) Réactions



On veut sortir la somme des réactions suivant X (due à E_x) puis suivant Y (Due à E_y)

5. Vérification de la résultante des forces sismiques à la base

Réactions

Choisir (en cochant) Réactions

Aller à la fin du tableau et tirer « Somme des réactions » suivant X

Tableaux de données et de résultats

- Noeuds
- Barres
- Caractéristiques
- Pièces et familles
- Groupes d'objets
- Appuis
- Liaisons rigides
- Excentrements
- Imperfections géométriques
- Etages
- Métré
- Devis estimatif
- Charges
- Masses ajoutées
- Combinaisons
- Réactions
- Flèches des barres
- Déplacements des noeuds
- Efforts
- Contraintes

Mode d'ouverture du tableau

tableau complet (sélection en surbrillance)

tableau filtré suivant la sélection actuelle

OK Annuler Aide

Choisir le cas de charge : Ex

Suivant X

1: G

2: Q

3: ELU

4: ELS

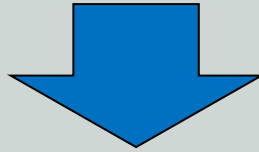
5: Module

6: Ex

7: Ex

Cas simples

Combinaisons



$V_{tx} = 204,19 \text{ KN}$

Noeud/Cas/Mode	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
Vérification	0,00	0,00	-0,00	0,00	0,00	0,00
Précision	2,58632e-04	5,28088e-11				
Mode CQC						
Somme totale	210,16	209,16	426,22	164,04	373,83	16,72
Somme réactions	204,19	0,91	0,00	2,34	1771,86	1581,74
Somme efforts	204,19	0,91	0,0	2,34	1771,86	1581,76
Vérification	408,38	1,82	0,00	4,68	3543,72	3163,50
Précision	1,60134e-03	4,85928e-09				



5. Vérification de la résultante des forces sismiques à la base

Suivant
Y

Réactions

Tableaux de données et de résultats

- Noeuds
- Barres
- Caractéristiques
- Pièces et familles
- Groupes d'objets
- Appuis
- Liaisons rigides
- Excentrements
- Imperfections géométriques
- Etages
- Métré
- Devis estimatif
- Charges
- Masses ajoutées
- Combinaisons
- Réactions
- Flèches des barres
- Déplacements des noeuds
- Efforts
- Contraintes

Mode d'ouverture du tableau
 tableau complet (sélection en surbrillance)
 tableau filtré suivant la sélection actuelle

OK Annuler Aide

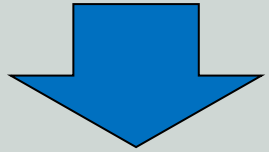
Choisir le cas de charge : Ey

6: Ex

- 1: G
- 2: Q
- 3: ELU
- 4: ELS
- 5: Modale
- 6: Ex
- 8: Ey
- 6: Cas simples
- 6: Combinaisons

Choisir (en cochant) Réactions

Aller à la fin du tableau et tirer « Somme des réactions » suivant Y



$V_{ty} = 262,26 \text{ KN}$

Noeud/Cas/Mode	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
Précision	2,56454e-04	5,75941e-11				
Mode CQC						
Somme totale	9,85	262,26	454,91	458,29	9,49	5,85
Somme réactions	0,91	262,26	0,00	2319,45	6,91	2436,97
Somme efforts	0,91	262,26	0,0	2319,45	6,91	2436,97
Vérification	1,82	524,51	0,00	4638,90		4873,93
Précision	1,59951e-03	4,86049e-09				

Comparaison Vtx et Vty avec Vmse

5. Vérification de la résultante des forces sismiques à la base

Comparaison

Résultante des forces sismiques de calcul (§ 4.3.5)

La résultante des forces sismiques à la base, V_{tx} et V_{ty} , obtenues par combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante des forces sismiques V_{MSE} .

Si ($V_{tx} \leq 0,8V_{MSE}$), (ou V_{ty}) il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse dans le rapport ($0,8V_{MSE}/V_{tx}$), ou V_{ty}

Robot

$$\begin{aligned} V_{tx} &= 204,19 \text{ KN} \\ V_{ty} &= 262,26 \text{ KN} \end{aligned}$$



$$V_{MSE} = 333,48 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} 0,8 V_{MSE} &= 0,8 \times 333,48 \\ &= 266,784 \text{ KN} \end{aligned}$$

Il faut augmenter les paramètres dans un rapport :

$$\alpha = \frac{0,80 V_{MSE}}{V_{tx}} = \frac{266,784}{204,19} = 1,306$$

On prendra

$$\alpha = 1,31$$

Avec V_{ty} ça aurait donné moins

Refaire le calcul spectral (suivant X et Y) avec un spectre augmenté de $\alpha = 1,31$

5. Vérification de la résultante des forces sismiques à la base

Correction

Correction du spectre avec $\alpha = 1,31$

Suivant X

Types d'analyse...

N°	Nom	Type d'analyse
1	G	Statique linéaire
2	Q	Statique linéaire
3	ELU	Combinaison linéaire
4	ELS	Combinaison linéaire
5	Modale	Modale
6	Ex	Spectrale
8	Ey	Spectrale

Ex

Accélération (m/s²)

Période (s)

Spectres définis

N°	Nom
1	Spectre

Spectres sélectionnés pour les calculs

Spectre 1

Nom du spectre: Spectre

Amortissement: 0.06

Définition de la direction

Direction

Direction	Normalisées
X: 13.1	1
Y: 0	0
Z: 0	0

Changer par 10 $\alpha = 13,1$

Lancer les calculs et vérifier Vtx avec Vmse

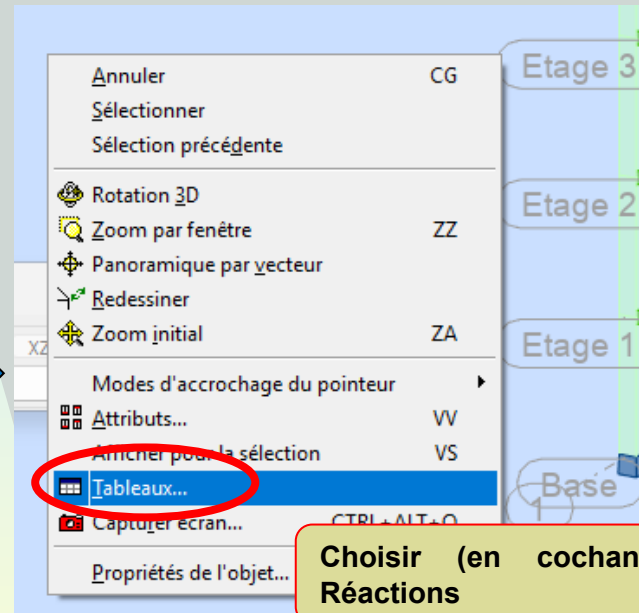


5. Vérification de la résultante des forces sismiques à la base

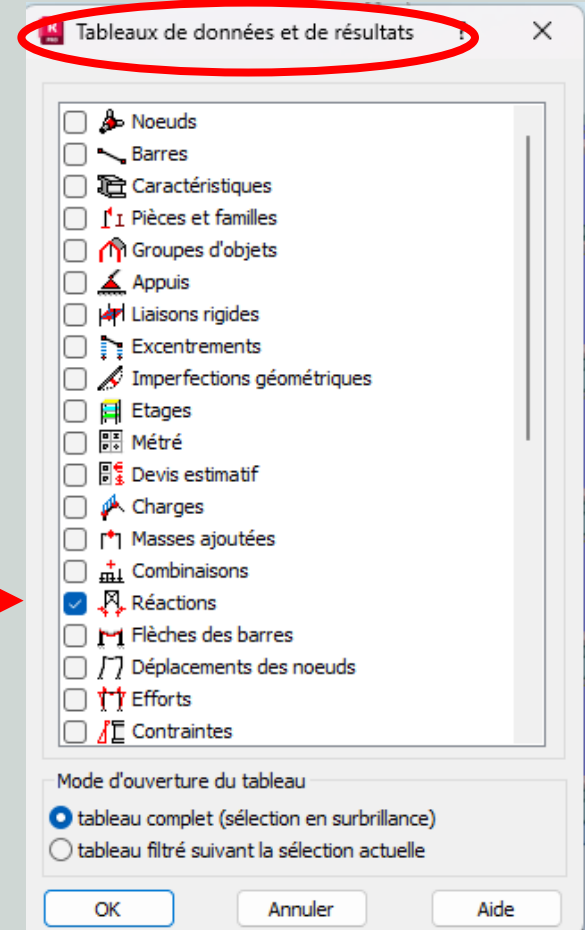
Suivant
X

Après calcul (suivant X), on peut déterminer la résultante des forces sismiques à la base Vtx et la comparer à celle de la MSE(**Résultats/Réactions**)

Double cliquer sur l'écran principal



Choisir (en cochant) Réactions



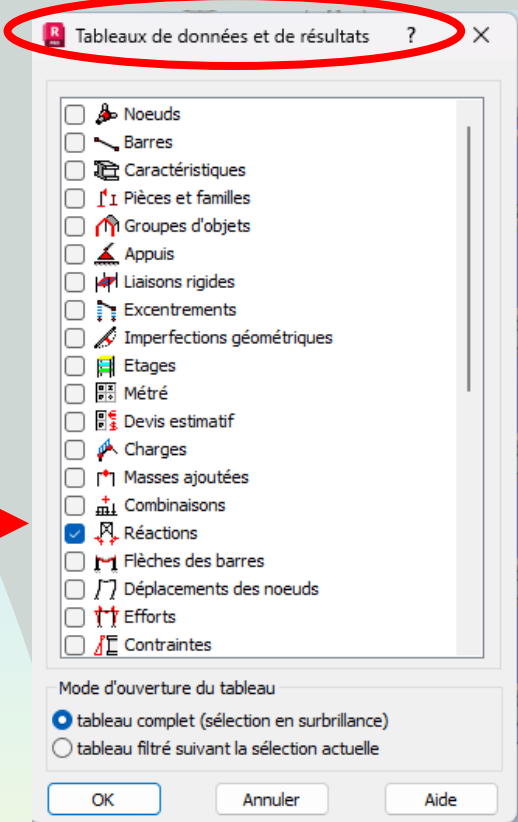
On veut sortir la somme des réactions suivant X (due à Ex)

5. Vérification de la résultante des forces sismiques à la base

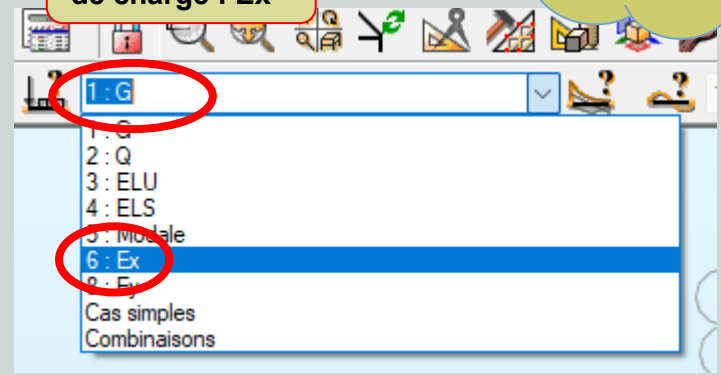
Réactions

Choisir (en cochant) Réactions

Aller à la fin du tableau et tirer « Somme des réactions » suivant X



Choisir le cas de charge : Ex



$V_{tx} = 267,49 \text{ KN}$

Noeud/Cas/Mode	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
Précision	2,58632e-04	5,28088e-11				
Mode CQC						
Somme totale	275,24	274,00	558,35	214,89	489,71	21,90
Somme réactions	267,49	1,19	0,00	3,07	2321,14	2072,08
Somme efforts	267,49	1,19	0,0	3,07	2321,14	2072,11
Vérification	534,97	2,38	0,00	6,13	4642,28	4144,19
Précision	1,60134e-03	4,85928e-09				

$V_{tx} = 267,49 \text{ KN}$

>

$0,8 V_{MSE} = 0,8 \times 333,48 = 266,784 \text{ KN}$



Condition vérifiée X



Même chose sur Y

5. Vérification de la résultante des forces sismiques à la base

Correction

On refait la même correction du spectre avec $\alpha = 1,31$ suivant Y

Suivant Y

Menu items: Analyse, Résultats, Dimensionnement, Outils, Modules co...
Types d'analyse...
Calculer
Traitement des résultats...
Enregistrer les résultats des combinaisons sismiques...
Redémarrer les calculs...
Messages de calcul...
Notes de calcul
Vérifier structure
Maillage
Générateur
Analyseur

N°	Nom	Type d'analyse
1	G	Statique linéaire
2	Q	Non linéaire
3	ELU	Combinaison linéaire
4	ELS	Combinaison linéaire
5	Modale	Modale
6	Ex	Spectrale
8	Ey	Spectrale

Buttons: Nouveau, Paramètres, Changer type d'analyse, Supprimer

Cas: Ey
Accélération (m/s²) vs Période (s) graph
Spectres définis: 1 Spectre
Spectres sélectionnés pour les calculs: Spectre 1
Amortissement: 0.06
Définition de la direction

Direction: X: 0, Y: 13.1, Z: 0
Normalisées: X: 0, Y: 1, Z: 0
Changer par 10 $\alpha = 13,1$

Lancer les calculs et vérifier Vty avec Vmse

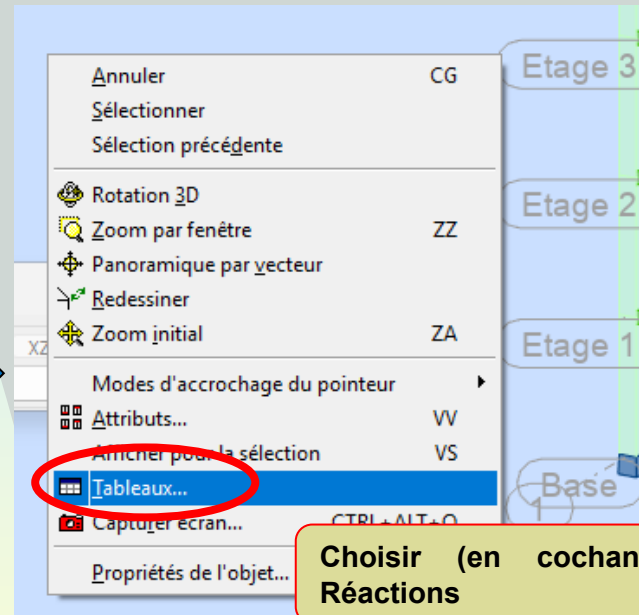


5. Vérification de la résultante des forces sismiques à la base

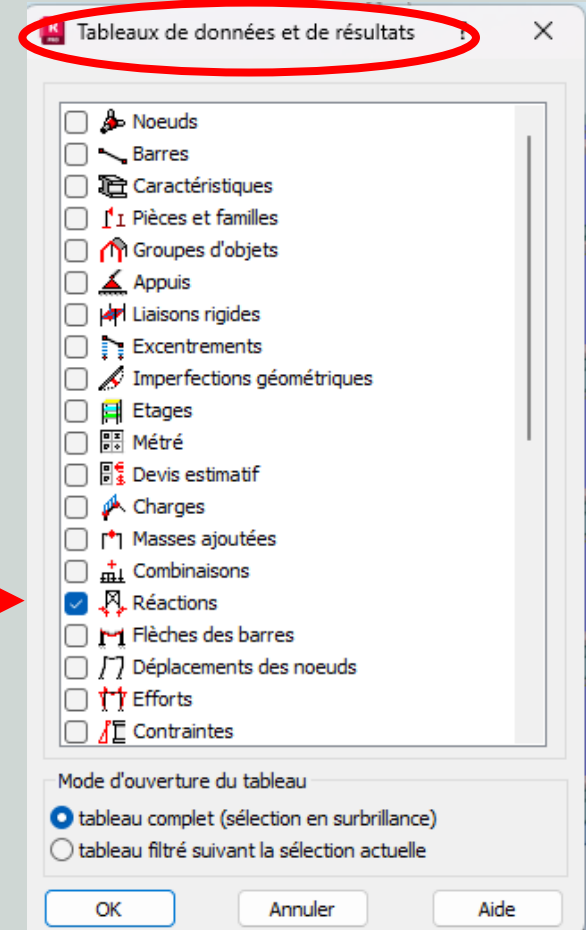
Suivant
Y

Après calcul (suivant X), on peut déterminer la résultante des forces sismiques à la base Vty et la comparer à celle de la MSE(**Résultats/Réactions**)

Double cliquer sur l'écran principal



Choisir (en cochant) Réactions



On veut sortir la somme des réactions suivant Y (due à E_y)

5. Vérification de la résultante des forces sismiques à la base

Réactions

Choisir (en cochant) Réactions

Aller à la fin du tableau et tirer « Somme des réactions » suivant y

Tableaux de données et de résultats ?

- Noeuds
- Barres
- Caractéristiques
- Pièces et familles
- Groupes d'objets
- Appuis
- Liaisons rigides
- Excentrements
- Imperfections géométriques
- Etages
- Métré
- Devis estimatif
- Charges
- Masses ajoutées
- Combinaisons
- Réactions
- Flèches des barres
- Déplacements des noeuds
- Efforts
- Contraintes

Mode d'ouverture du tableau

tableau complet (sélection en surbrillance)

tableau filtré suivant la sélection actuelle

OK Annuler Aide

Choisir le cas de charge : Ey

Suivant Y

8: Ey

1: G
2: Q
3: ELU
4: ELS
5: Modale
6: Ex
8: Ey
- Cas simples
- Combinaisons

0,10	-0,18	0,06	0,34
------	-------	------	------



$V_{ty} = 343,56 \text{ KN}$

Noeud/Cas/Mode	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
Précision	2,56454e-04	5,75941e-11				
Mode CQC						
Somme totale	12,91	343,62	595,93	600,36	12,43	7,67
Somme réactions	1,19	343,56	0,00	3038,48	9,06	3192,43
Somme efforts	1,19	343,56	0,0	3038,48	9,06	3192,42
Vérification	2,39	687,11	0,00	6076,96	18,11	6384,85
Précision	1,59951e-03	4,86049e-09				

$V_{ty} = 343,56 \text{ KN}$

>

$0,8 V_{MSE} = 0,8 \times 333,48 = 266,784 \text{ KN}$



Même chose sur Y

Condition vérifiée Y

**Prochaine
étape**

On définit les différentes combinaisons des charges et faire toutes les justifications imposées par les RPA2024



**C'est l'objet du prochain chapitre
(Chapitre 7)**

Merci. Fin du Chapitre 06B

www.abdellatif-megnounif.com/?action=cours



Dynamique des structures

Abdellatif MEGNOUNIF

Prochain Cours

Chap. 07A

Analyse – Combinaisons des charges