SDLD33 - Réponse sismique spectrale d'un système 2 masses - 4 ressorts multi-supporté par 2 groupes décorrélés d'appuis

Résumé :

Le problème consiste à calculer la réponse spectrale d'un système 2 masses – 4 ressorts multi-supporté, soumis à une excitation sismique multiple, en considérant les 3 appuis comme 2 groupes décorrélés d'appuis.

On teste l'élément discret en traction, le calcul des modes propres, des modes statiques et de la réponse spectrale par superposition modale via l'opérateur COMB_SISM_MODAL.

Modélisation A: cette modélisation permet de valider l'ordre des combinaisons à considérer dans le cas du système multi-support à savoir le cumul intra-groupe puis le cumul inter-groupe.

Modélisation B: cette modélisation permet de valider les règles de combinaisons à considérer dans le cumul des groupes décorrélés d'appuis avec DDS intra-groupe égaux.

Modélisation C : cette modélisation permet de valider des options de sorties des calculs modaux spectraux en cas du multi-appui corrélé.

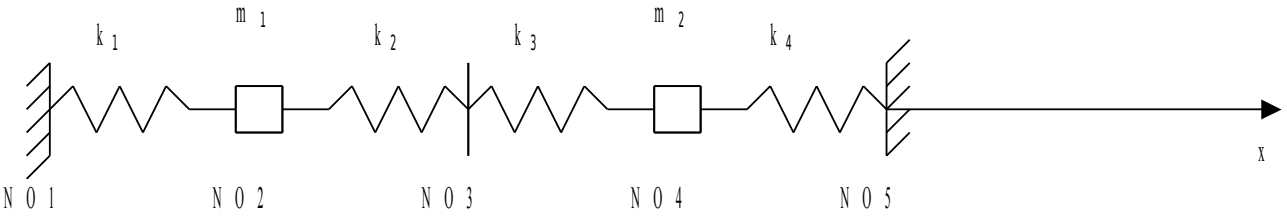
Les résultats obtenus sont en très bon accord avec les résultats analytiques de référence.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Le système est composé d'un ensemble de 4 ressorts, 2 masses ponctuelles, supporté par 3 appuis.



1.2 Propriétés de matériaux

Raideur de liaison : $k=k_1=k_2=10^3\ N/m \qquad k_3=k_4=2k=2.10^3\ N/m$;
masse ponctuelle : $m=m_1=m_2=10\ kg$.

1.3 Conditions aux limites et chargements

Conditions aux limites :
Les seuls déplacements autorisés sont les translations selon l'axe x .
Les points $NO1$, $NO3$ et $NO5$ sont encastrés : $dx=dy=dz=drx=dry=drz=0$.
Les autres points sont libres en translation selon la direction x : $dy=dz=drx=dry=drz=0$.

Chargement :
La structure est soumise à une excitation sismique spectrale multiple et à des déplacements différentiels :

- Les spectres de réponses d'oscillateur en pseudo-accélération sont simplifiés. Seules les valeurs correspondant aux 2 fréquences propres du système sont mentionnées. Elles ne dépendent pas de l'amortissement :

  au nœud $NO1$:
  $SRO_{NO1}(f_1)=A_{11}=7\ m/s^2$
  $SRO_{NO1}(f_2)=A_{21}=5\ m/s^2$

  au nœud $NO3$:
  $SRO_{NO3}(f_1)=A_{12}=7.7\ m/s^2$
  $SRO_{NO3}(f_2)=A_{22}=5.5\ m/s^2$

  au nœud $NO5$:
  $SRO_{NO5}(f_1)=A_{13}=12\ m/s^2$
  $SRO_{NO5}(f_2)=A_{23}=6\ m/s^2$

  Les excitations aux nœuds $NO1$ et $NO3$ sont corrélées. On constitue 2 groupes décorrélés de supports : le groupe 1 est composé des nœuds $NO1$ et $NO3$; le groupe 2 est constitué du seul nœud $NO5$. La même excitation sismique spectrale multiple est identique pour les deux modélisations A et B.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- Les déplacements différentiels sont les suivants :

Modélisation A:
au nœud $NO1$:

$$DDS_{NO1} = D_1 = -0.04\,m$$

au nœud $NO3$:

$$DDS_{NO3} = D_2 = -0.044\,m$$

au nœud $NO5$:

$$DDS_{NO5} = D_3 = 0.06\,m$$

Modélisation B:
au groupe de support 1 (DDS intra-groupe égaux) :

- $DDS_{NO1} = DDS_{NO3} = D_1 = -0.04\,m$

au groupe de support 2 :

- $DDS_{NO5} = D_2 = 0.06\,m$

1.4 Conditions initiales

Le système est au repos.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

On calcule la réponse spectrale par superposition modale d'un système 2 masses – 4 ressorts soumis à trois excitations distinctes. On détermine le déplacement des masses aux nœuds $NO2$ et $NO4$ suivant l'axe x.

On calcule analytiquement :

- les fréquences propres f_i,
- les vecteurs propres associés Φ_{N_i} normalisés par rapport à la masse modale,
- les modes statiques d'appuis Ψ_i du système,
- les facteurs de participation modale P_{ij} relatif aux appuis,
- Rm_{ij} le maximum de la réponse de chaque mode à partir des spectres d'excitation,
- Re_{ij} la contribution du mouvement d'entraînement de chaque appui à partir des déplacements différentiels,

2.2 Résultats de référence

2.2.1 Matrices et vecteurs caractéristiques

- **matrice de rigidité** K

$$K=\begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3+k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix}$$

matrice relative aux degrés de liberté 1, 2, 3, 4, 5

$$K^p=\begin{bmatrix} k_1+k_2 & 0 & -k_1 & -k_2 & 0 \\ 0 & k_3+k_4 & 0 & -k_3 & -k_4 \\ -k_1 & 0 & k_1 & 0 & 0 \\ -k_2 & -k_3 & 0 & k_2+k_3 & 0 \\ 0 & -k_4 & 0 & 0 & k_4 \end{bmatrix}$$

matrice partitionnée degrés de liberté de structure 2, 4, degrés de liberté de support 1, 3, 5

$$\boldsymbol{K}^p=\begin{bmatrix} \boldsymbol{k} & \boldsymbol{k}_{xs} \\ \boldsymbol{k}_{sx} & \boldsymbol{k}_{ss} \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{k}=\begin{bmatrix} k_1+k_2 & 0 \\ 0 & k_3+k_4 \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{k}_{xs}=\begin{bmatrix} -k_1 & 0 & -k_2 & 0 \\ 0 & -k_3 & 0 & -k_4 \end{bmatrix}$$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- **matrice de masse** M

$$M=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0\\0&m_1&0&0&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&m_2&0\\0&0&0&0&0\end{bmatrix}$$

matrice relative aux degrés de liberté 1, 2, 3, 4, 5

$$M^p=\begin{bmatrix}m_1&0&0&0&0\\0&m_2&0&0&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{bmatrix}$$

matrice partitionnée degrés de liberté de structure 2, 4, degrés de liberté de support 1, 3, 5

- **calcul modal en base encastrée**

$(K-\lambda_i M)\phi_i=0$ avec $\lambda_i=\omega_i^2$

$$dét(K-\lambda_i M)=0\Leftrightarrow\lambda_i^2-\left(\frac{k_1+k_2}{m_1}+\frac{k_3+k_4}{m_2}\right)\lambda_i+\frac{(k_1+k_2)(k_3+k_4)}{m_1 m_2}=0$$

$$\lambda_1=\frac{2k}{m}\qquad\lambda_2=\frac{4k}{m}$$

- fréquences propres :

$$\Rightarrow\ f_1=\frac{\omega_1}{2\pi}\qquad f_2=\frac{\omega_2}{2\pi}$$

- modes propres non normés :

$$\phi_1=\begin{bmatrix}0\\1\\0\\0\\0\end{bmatrix}\qquad\phi_2=\begin{bmatrix}0\\0\\0\\1\\0\end{bmatrix}$$

- masses modales généralisées $\mu_i=\phi_i^T M\,\phi_i$:

$$\mu_1=\mu_2=m$$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- modes propres normés à la masse modale généralisée unitaire Φ_{Nk} :

$$\Rightarrow \quad \Phi_{N1}=\frac{\Phi_1}{\sqrt{\mu_1}} \qquad \Phi_{N2}=\frac{\Phi_2}{\sqrt{\mu_2}}$$

- **modes statiques d'appuis** Ψ_{Sj}

Matrice des modes statiques réduite aux ddls de structure $\varphi_S=-\boldsymbol{k}^{-1}\boldsymbol{k}_{xs}$

$$\varphi_S=\frac{-1}{4k}\begin{bmatrix}2 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}-k & -k & 0\\ 0 & -2k & -2k\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1/2 & 1/2 & 0\\ 0 & 1/2 & 1/2\end{bmatrix}$$

- solution statique à un déplacement unitaire du nœud $NO1$:

déplacements : $\Psi_{S1}=\begin{bmatrix}1\\ 1/2\\ 0\\ 0\\ 0\end{bmatrix}$

- solution statique à un déplacement unitaire du nœud $NO3$:

déplacements : $\Psi_{S2}=\begin{bmatrix}0\\ 1/2\\ 1\\ 1/2\\ 0\end{bmatrix}$

- solution statique à un déplacement unitaire du nœud $NO5$:

déplacements : $\Psi_{S3}=\begin{bmatrix}0\\ 0\\ 0\\ 1/2\\ 1\end{bmatrix}$

- **mode de corps rigide** Ψ_{R1}

Matrice des modes rigides réduite aux ddls de structure : $\varphi_R=\varphi_S\boldsymbol{S}_{\boldsymbol{R}}$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Mode de corps rigide $\Psi_{R1}=\begin{bmatrix}1\\1\\1\\1\\1\end{bmatrix}$

On vérifie bien que : $\Psi_{R1}=\Psi_{S1}+\Psi_{S2}+\Psi_{S3}$

2.2.2 Modélisation A : Chargement 1 multi-appuis

- facteurs de participation modale $P_{kj}=\phi_{Nk}^{T} M \Psi_j$:
- contribution du mode dynamique 1 au mouvement imposé au nœud $NO1$:

  $\Rightarrow \quad P_{11}=\phi_{N1}^{T} M \Psi_1=\frac{\sqrt{m}}{2}$
- contribution du mode dynamique 1 au mouvement imposé au nœud $NO3$:

  $\Rightarrow \quad P_{12}=\phi_{N1}^{T} M \Psi_2=\frac{\sqrt{m}}{2}$
- contribution du mode dynamique 1 au mouvement imposé au nœud $NO5$:

  $\Rightarrow \quad P_{13}=\phi_{N1}^{T} M \Psi_3=0$
- contribution du mode dynamique 2 au mouvement imposé au nœud $NO1$:

  $\Rightarrow \quad P_{21}=\phi_{N2}^{T} M \Psi_1=0$
- contribution du mode dynamique 2 au mouvement imposé au nœud $NO3$:

  $\Rightarrow \quad P_{22}=\phi_{N2}^{T} M \Psi_2=\frac{\sqrt{m}}{2}$
- contribution du mode dynamique 2 au mouvement imposé au nœud $NO5$:

  $\Rightarrow \quad P_{23}=\phi_{N2}^{T} M \Psi_3=\frac{\sqrt{m}}{2}$

- **réponse du mode i au mouvement de l'appui j**

$$Rm_{kj}=\phi_{Nk} P_{kj} \frac{A_{kj}}{\omega_i^2}$$

Réponses combinées des oscillateurs modaux

Réponse du mode 1 au mouvement de l'appui 1 : $Rm_{11}=\phi_{N1} P_{11} \frac{A_{11}}{\omega_1^2}=\frac{A_{11}}{2\omega_1^2}\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}$

Réponse du mode 1 au mouvement de l'appui 2 : $Rm_{12}=\phi_{N1} P_{12} \frac{A_{12}}{\omega_1^2}=\frac{A_{12}}{2\omega_1^2}\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}$

Réponse du mode 1 au mouvement de l'appui 3 : $Rm_{13}=\phi_{N1} P_{13} \frac{A_{13}}{\omega_1^2}=\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}$

Réponse du mode 2 au mouvement de l'appui 1 : $Rm_{21}=\phi_{N2} P_{21} \frac{A_{21}}{\omega_2^2}=\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}$

Réponse du mode 2 au mouvement de l'appui 2 : $Rm_{22}=\phi_{N2} P_{22} \frac{A_{22}}{\omega_2^2}=\frac{A_{22}}{2\omega_2^2}\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Réponse du mode 2 au mouvement de l'appui 3 : $Rm_{23}=\Phi_{N2}P_{23}\frac{A_{23}}{\omega_2^2}=\frac{A_{23}}{2\,\omega_2^2}\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}$

- **cumul intra-groupe (somme algébrique)**

mode 1 : $Rm_{1\text{groupe1}}=Rm_{11}+Rm_{12}=\frac{A_{11}+A_{12}}{2\,\omega_1^2}\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}$

mode 2 : $Rm_{2\text{groupe1}}=Rm_{21}+Rm_{22}=\frac{A_{22}}{2\,\omega_2^2}\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}$

- **contribution de l'appui j au mouvement d'entraînement**

$Re_j=\Psi_j D_j$

contributions des groupes 1 et 2 au mouvement d'entraînement

$$Re_{groupe1}=Re_1+Re_2=\frac{1}{2}\begin{pmatrix}D_1+D_2\\D_2\end{pmatrix}\qquad Re_{groupe2}=Re_3=\frac{1}{2}\begin{pmatrix}0\\D_3\end{pmatrix}$$

- **cumul sur les modes (quadratique)**

$$Rm_{groupe1}=\sqrt{(Rm_{11}+Rm_{12})^2+(Rm_{21}+Rm_{22})^2}=\begin{pmatrix}\frac{A_{11}+A_{12}}{2\,\omega_1^2}\\\frac{A_{22}}{2\,\omega_2^2}\end{pmatrix}$$

$$Rm_{groupe2}=\sqrt{Rm_{13}^2+Rm_{23}^2}=\frac{A_{23}}{2\,\omega_2^2}\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}$$

- **réponse des groupes d'appuis 1 et 2**

$R_1=\sqrt{Rm_{groupe1}^2+Re_{groupe1}^2}$ $\qquad R_1^2=\frac{1}{4}\begin{bmatrix}\frac{(A_{11}+A_{12})^2}{\omega_1^2}+(D_1+D_2)^2\\\frac{A_{22}^2}{\omega_2^2}+D_2^2\end{bmatrix}$

$R_2=\sqrt{Rm_{groupe2}^2+Re_{groupe2}^2}$ $\qquad R_2^2=\frac{1}{4}\begin{bmatrix}0\\\frac{A_{23}^2}{\omega_2^2}+D_3^2\end{bmatrix}$

- **cumul inter-groupe (quadratique)**

$R=\sqrt{R_1^2+R_2^2}$ $\qquad R^2=\frac{1}{4}\begin{bmatrix}\frac{(A_{11}+A_{12})^2}{\omega_1^2}+(D_1+D_2)^2\\\frac{A_{22}^2+A_{23}^2}{\omega_2^2}+D_2^2+D_3^2\end{bmatrix}$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2.2.3 Modélisation B

Il est noté ici que, seule la réponse au DDS est considérée pour valider les règles de combinaison à employer dans cette modélisation B.

- **contribution de l'appui j au mouvement d'entraînement**

$$Re_j = \Psi_j D_j$$

$$R_{e1} = \Psi_{S1} D_1 = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_1/2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{e2} = \Psi_{S2} D_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ D_1/2 \\ D_1 \\ D_1/2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{e3} = \Psi_{S3} D_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ D_2/2 \\ D_2 \end{bmatrix}$$

et aux réactions d'appuis :

$$F_1 = k\, D_1 \begin{bmatrix} 1/2 \\ 0 \\ -1/2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

$$F_2 = k\, D_1 \begin{bmatrix} -1/2 \\ 0 \\ 3/2 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$F_3 = k\, D_2 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Dans cette modélisation B , l e cumul des groupes décorrélés d'appuis avec DDS égaux est présenté dans le calcul 1 où le cumul intra-groupe est en valeur absolu e et le cumul inter-groupe est quadratique. La combinaison en valeur absolue pour le cumul intra-groupe est ici utilisée car les déplacements différentiels aux appuis sont non-signés. A titre contre-exemplaire, les calculs 2 et 3 sont également établis où les cumuls intra-groupe et inter-groupe sont respectivement linéaire et quadratique.

- **Calcul 1 : C ombinaison des groupes décorrélés d'appuis avec DDS intra-groupe égaux :**

$$R_e = \sqrt{(|R_{e1}| + |R_{e2}|)^2 + (R_{e3})^2} = \begin{bmatrix} |D_1| \\ |D_1| \\ |D_1| \\ \sqrt{(D_1/2)^2 + (D_2/2)^2} \\ |D_2| \end{bmatrix}$$

$$F = \sqrt{(|F_1| + |F_2|)^2 + (F_3)^2} = k \begin{bmatrix} |D_1| \\ 0 \\ \sqrt{(2\,D_1)^2 + (D_2)^2} \\ 0 \\ \sqrt{(D_1)^2 + (D_2)^2} \end{bmatrix}$$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- **Calcul 2 :Combinaison linéaire intra-groupe et inter-groupe**

$$R_e = R_{e1} + R_{e2} + R_{e3} = \begin{bmatrix} D_{g1} \\ D_1 \\ D_1 \\ (D_1 + D_2)/2 \\ D_2 \end{bmatrix}$$

$$F = F_1 + F_2 + F_3 = k \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ D_1 \\ 0 \\ -(D_1 + D_2) \end{bmatrix}$$

- **Calcul 3 :Combinaison quadratique intra-groupe et inter-groupe**

$$R_e = \sqrt{(R_{e1})^2 + (R_{e2})^2 + (R_{e3})^2} = \begin{bmatrix} |D_1| \\ |D_1|/2 \\ |D_1| \\ \sqrt{(D_1/2)^2 + (D_2/2)^2} \\ |D_2| \end{bmatrix}$$

$$F = \sqrt{(F_1)^2 + (F_2)^2 + (F_3)^2} = k \begin{bmatrix} |D_1|/\sqrt{2} \\ 0 \\ \sqrt{(\sqrt{10}\, D_1)^2/4 + (D_2)^2} \\ 0 \\ \sqrt{(D_1)^2 + (D_2)^2} \end{bmatrix}$$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2.2.4 Modélisation C

La modélisation C consiste à tester les options de sorties pour un calcul modal spectral en multi-appui corrélé, c'est-à-dire, tous les appuis corrélés entre eux. Ainsi, un seul groupe d'appui est formé. Toutes les contributions des appuis sont combinées en LINE par défaut. Le cumul modal est effectué par la règle SRSS.

Le chargement sismique consiste en trois spectres en VITE, qui sont convertis des spectres en ACCE dans les modélisations A et B en les divisant par les pulsations associées aux deux modes $f_1=2.25079$ Hz et $f_1=3.1831$ Hz. Les valeurs numériques sont les suivantes :

au nœud $NO1$:

$$SRO_{NO1}^{VITE}(f_1)=A_{11}/(2\pi f_1)=7/(2\pi 2.25079)\,m/s$$
$$SRO_{NO1}^{VITE}(f_2)=A_{21}/(2\pi f_2)=5/(2\pi 3.1831)\,m/s$$

au nœud $NO3$:

$$SRO_{NO3}^{VITE}(f_1)=A_{12}/(2\pi f_1)=7.7/(2\pi 2.25079)\,m/s$$
$$SRO_{NO3}^{VITE}(f_2)=A_{22}/(2\pi f_2)=5.5/(2\pi 3.1831)\,m/s$$

au nœud $NO5$:

$$SRO_{NO5}^{VITE}(f_1)=A_{13}/(2\pi f_1)=12/(2\pi 2.25079)\,m/s$$
$$SRO_{NO5}^{VITE}(f_2)=A_{23}/(2\pi f_2)=6/(2\pi 3.1831)\,m/s$$

Solution analytique des réponses en déplacement (DEPL):
La réponse du mode 1 :

$$Rm_1=Rm_{11}+Rm_{12}+Rm_{13}=\frac{1}{2\omega_1^2}\begin{bmatrix}0\\A_{11}+A_{12}\\0\\0\\0\end{bmatrix}$$

La réponse du mode 2 :

$$Rm_2=Rm_{21}+Rm_{22}+Rm_{23}=\frac{1}{2\omega_2^2}\begin{bmatrix}0\\0\\0\\A_{22}+A_{23}\\0\end{bmatrix}$$

La réponse dynamique totale par cumul quadratique de deux modes :

$$Rm=\sqrt{Rm_1^2+Rm_2^2}=\begin{bmatrix}0\\\frac{|A_{11}+A_{12}|}{2\omega_1^2}\\0\\\frac{|A_{22}+A_{23}|}{2\omega_2^2}\\0\end{bmatrix}$$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Des réponses en réactions aux supports : (REAC_NODA) :
La réponse du mode 1 :

$$F_1 = K\left(Rm_{11} + Rm_{12} + Rm_{13}\right) = \begin{bmatrix} -k_1 \dfrac{A_{11}+A_{12}}{2\omega_1^2} \\ 0 \\ -k_2 \dfrac{A_{11}+A_{12}}{2\omega_1^2} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

La réponse du mode 2 :

$$F_2 = K\left(Rm_{21} + Rm_{22} + Rm_{23}\right) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -k_3 \dfrac{A_{22}+A_{23}}{2\omega_2^2} \\ 0 \\ -k_4 \dfrac{A_{22}+A_{23}}{2\omega_2^2} \end{bmatrix}$$

La réponse dynamique totale par cumul quadratique de deux modes :

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \begin{bmatrix} \dfrac{k_1 \left| A_{11}+A_{12} \right|}{2\omega_1^2} \\ 0 \\ \sqrt{\left(\dfrac{k_1 \left| A_{11}+A_{12} \right|}{2\omega_1^2}\right)^2 + \left(\dfrac{k_4 \left| A_{22}+A_{23} \right|}{2\omega_2^2}\right)^2} \\ 0 \\ \dfrac{k_4 \left| A_{22}+A_{23} \right|}{2\omega_2^2} \end{bmatrix}$$

2.3 Incertitude sur la solution

Aucune (solution analytique)

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation

3.1 Caractéristiques du maillage

Le maillage est constitué de 5 nœuds, 4 mailles SEG2 et 2 mailles POI1.

3.2 Caractéristiques de la modélisation

Le système est modélisé par :

- 4 éléments discrets DIS_T de caractéristiques K_T_D_L,
- 2 éléments discrets DIS_T de caractéristiques M_T_D_N.

3.3 Paramètres de modélisation

3.3.1 Modélisation A

Calcul des modes statiques pour les mouvements des points $NO1$, $NO3$ et $NO5$.

Réponse modale spectrale multi-appuis décorrélés sur les 2 premiers modes sans correction statique (combinaison des réponses modales SRSS), sans amortissement.

3.3.2 Modélisation B

Calcul des modes statiques pour les mouvements des points $NO1$, $NO3$ et $NO5$.
Réponse au DDS avec différentes règles de combinaisons :

- **Calcul 1 : C ombinaison des groupes décorrélés d'appuis avec DDS intra-groupe égaux :**

Il faut définir les cas de charge par appuis (et non par groupe d'appuis). La combinaison en valeur absolue est utilisée pour le cumul intra-groupe et la combinaison quadratique pour le cumul inter-groupe.
Résultats des occurrences du mot-clé DEPL_MULT_APPUI :
- cas 1 : N01 avec DX = -0.04 m
- cas 2 : N03 avec DX = -0.04 m
- cas 3 : N05 avec DX = 0.06 m

Réponse produite par le mot-clé COMB_DEPL_APPUI :
- Liste des cas : cas 1, cas 2 et cas 3
- Règle de combinaison des cas 1 et 2 : valeur absolue (TYPE_COMBI='ABS',)
- Règle de combinaison globale : Quadratique

- **Calcul 2 :Combinaison linéaire intra-groupe et inter-groupe**

Résultat des occurrences du mot-clé DEPL_MULT_APPUI:
- cas 1: groupe 1 avec DX = -0.04 m
- cas 2: groupe 2 avec DX = 0.06 m

Réponse produite par le mot-clé COMB_DEPL_APPUI:
- Liste des cas: cas 1 et cas 2
- Règle de combinaison : Linéaire (TYPE_COMBI='LINE',)

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- **Calcul 3 : Combinaison quadratique intra-groupe et inter-groupe**

Résultat des occurrences du mot-clé DEPL_MULT_APPUI :
- cas 1 : groupe 1 avec DX = -0.04 m
- cas 2 : groupe 2 avec DX = 0.06m

Réponse produite par le mot-clé COMB_DEPL_APPUI :
- Liste des cas : cas 1 et cas 2
- Règle de combinaison : Quadratique (TYPE_COMBI=' QUAD ',)

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Fréquences propres

MODE	Référence	Code_Aster	Erreur relative (%)
1	2.2507900E+00	2.25079079E+00	3.5E-05
2	3.1830000E+00	3.18309886E+00	0.003

4.2 Réponse globale sur base modale complète

Les modes 1 et 2 sont pris en compte. Les composantes inertielle et statique (réponse aux DDS) de la réponse sont directement cumulées au niveau des appuis.

COMB_MODE='SRSS'

- réponse de l'appui $j=1$ (nœud $NO1$) : $R_1=\sqrt{Rm_1^2+Re_1^2}$ avec $Rm_1=\sqrt{Rm_{11}^2+Rm_{21}^2}$
- réponse de l'appui $j=2$ (nœud $NO4$) : $R_2=\sqrt{Rm_2^2+Re_2^2}$ avec $Rm_2=\sqrt{Rm_{12}^2+Rm_{22}^2}$
- réponse globale : $R=\sqrt{R_1^2+R_2^2}$.

- déplacements absolus : DEPL

NOEUD	Référence	Code_Aster	Erreur relative (%)
NO1	4.00000E-02	4.00000E-02	0.000
NO2	5.58000E-02	5.58083E-02	0.015
NO3	4.40000E-02	4.40000E-02	0.000
NO4	3.85600E-02	3.85683E-02	0.022
NO5	6.00000E-02	6.00000E-02	0.000

- réactions nodales : REAC_NODA

NOEUD	Référence	Code_Aster	Erreur relative (%)
NO1	3.68000E+01	3.68044E+01	0.012
NO2	0.00000E+00	2.23756E-14	2.2E-14
NO3	8.64900E+01	8.64906E+01	7.0E-04
NO4	0.00000E+00	3.071843E-14	3.1E-14
NO5	7.71400E+01	7.71367E+01	-0.004

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Résultats de la modélisation B

Nous ne comparons que les réponses au DDS en déplacement absolu et en réactions d'appuis.

5.1 Calcul 1 : Combinaison des groupes décorrélés d'appuis avec DDS intra-groupe égaux

- déplacements absolus : DEPL

NOEUD	Référence	Code_Aster	Erreur relative (%)
NO1	0.04	4.0000000000E-02	0.000
NO2	0.04	4.0000000000E-02	0.000
NO3	0.04	4.0000000000E-02	0.000
NO4	0.036055513	3.6055512754E-02	0.000000682
NO5	0.06	6.0000000000E-02	0.000

- Réaction d'appui : REAC_NODA

NOEUD	Référence	Code_Aster	Erreur relative (%)
NO1	40	0.0000000000E+00	0.000
NO2	0.0	0.0000000000E+00	0.000
NO3	100	100.00000000E+00	0.000
NO4	0.0	2.7284841053E-14	2.7284841053E-14
NO5	72.11103	7.2111025509E+01	0.000

5.2 Calcul 2 : Combinaison linéaire intra-groupe et inter-groupe

- déplacements absolus : DEPL

NOEUD	Référence	Code_Aster	Erreur relative (%)
NO1	-0.04	-4.0000000000E-02	0.000
NO2	-0.04	-4.0000000000E-02	0.000
NO3	-0.04	-4.0000000000E-02	0.000
NO4	0.01	1.0000000000E-02	0.000
NO5	0.06	6.0000000000E-02	0.000

- Réaction d'appui : REAC_NODA

NOEUD	Référence	Code_Aster	Erreur relative (%)
NO1	0.0	0.0000000000E+00	0.000
NO2	0.0	0.0000000000E+00	0.000
NO3	-100	-1.0000000000E+02	0.000
NO4	0.0	2.72848410531E-14	2.72848410531E-14
NO5	100	1.0000000000E+02	0.000

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5.3 Calcul 3 : Combinaison quadratique intra-groupe et inter-groupe

- déplacements absolus : DEPL

NOEUD	Référence	Code_Aster	Erreur relative (%)
NO1	0.04	4.0000000000E-02	0.000
NO2	0.028284	2.8284271247E-02	-0.000000873
NO3	0.04	4.0000000000E-02	0.000
NO4	0.036056	3.6055512754E-02	0.000000682
NO5	0.06	6.0000000000E-02	0.000

- Réaction d'appui : REAC_NODA

NOEUD	Référence	Code_Aster	Erreur relative (%)
NO1	28.28427	2.8284271247E+01	0.000
NO2	0.0	0.0000000000E+00	0.000
NO3	87.17798	8.7177978870E+01	0.000
NO4	0.0	2.72848410531E-14	2.72848410531E-14
NO5	72.11103	7.21110255092E+01	0.000

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Résultats de la modélisation C

Cette modélisation consiste à tester des options de sorties afin d'imprimer les résultats spectraux correspondant aux modes et appuis souhaités : TYPE_RESU(_F(TYPE = VALE_SPEC)). Les différentes mots-clés testés correspondent à la recherche du numéro de mode, de l'appui pour les résultats à imprimer.

6.1 Réponse totale en cas du multi-appui corrélés TYPE_RESU(_F(TYPE = VALE_TOTA)).

- déplacements absolus : DEPL

NOEUD	Référence	Code_Aster (NOM_CAS = TOTA)	Erreur relative (%)
NO1	0.0	0.0000000000E+00	0.000
NO2	0.0367500000128258	3.67500129052E-02	0.000
NO3	0.0	0.0000000000E+00	0.000
NO4	0.0143750000166001	1.43750077500E-02	0.000
NO5	0.0	0.0000000000E+00	0.000

- Réaction d'appui : REAC_NODA

NOEUD	Référence	Code_Aster (NOM_CAS = TOTA)	Erreur relative (%)
NO1	36.750000012825800	3.6750012905E+01	0.000
NO2	0.0	1.59111253910E-14	0.000
NO3	46.659672125420200	4.6659691809E+01	0.000
NO4	0.0	3.07896532112E-14	0.000
NO5	28.750000033200200	2.8750015500E+01	0.000

6.2 Réponse spectrale TYPE_RESU(_F(TYPE = VALE_SPEC)).

- **M ode 1 :**
  - déplacements absolus : DEPL

Appui	DX au NOEUD	Référence	Code_Aster	Erreur relative (%)
APP1 (NOM_CAS = SPEC_1XAPP1)	NO2	0.0175000000	1.75000061453E-02	0.000
	NO4	0.0	-7.33086981220E-18	0.000
APP 2 (NOM_CAS = SPEC_1XAPP2)	NO2	0.0192500000	1.92500067598E-02	0.000
	NO4	0.0	-8.06395679342E-18	0.000
APP 3 (NOM_CAS = SPEC_1XAPP3)	NO2	0.0	-2.51344107847E-17	0.000
	NO4	0.0	1.05289730608E-32	0.000

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- déplacements absolus : REAC_NODA

Mouvement d'appui	FX au NOEUD	Référence	Code_Aster	Erreur relative (%)
APP1 (NOM_CAS = SPEC_1XAPP1)	NO1	-17.5000000061075	-1.750000E+01	0.000
	NO3	-17.5000000061075	-1.750000E+01	0.000
	NO5	0.0	1.4661739E-14	0.000
APP 2 (NOM_CAS = SPEC_1XAPP2)	NO1	-19.2500000067183	-1.925000E+01	0.000
	NO3	-19.2500000067183	-1.925000E+01	0.000
	NO5	0.0	1.6127913E-14	0.000
APP 3 (NOM_CAS = SPEC_1XAPP3)	NO1	0.0	2.5134410E-14	0.000
	NO3	0.0	2.5134410E-14	0.000
	NO5	0.0	-2.1057946E-29	0.000

- **M ode 2 :**
  - déplacements absolus : DEPL

Mouvement d'appui	DX au NOEUD	Référence	Code_Aster	Erreur relative (%)
APP1 (NOM_CAS = SPEC_2XAPP1)	NO2	0.0	6.9316175188E-34	0.000
	NO4	0.0	-1.4717782532E-18	0.000
APP 2 (NOM_CAS = SPEC_2XAPP2)	NO2	0.0	-3.2379121570E-18	0.000
	NO4	0.006875000007939	6.8750023865E-03	0.000
APP 3 (NOM_CAS = SPEC_2XAPP3)	NO2	0.0	-3.5322691075E-18	0.000
	NO4	0.007500000008661	7.5000053634E-03	0.000

- déplacements absolus : REAC_NODA

Mouvement d'appui	FX au NOEUD	Référence	Code_Aster	Erreur relative (%)
APP1 (NOM_CAS = SPEC_2XAPP1)	NO1	0.0	-6.93161751E-31	0.000
	NO3	0.0	2.9435565064E-15	0.000
	NO5	0.0	2.94355650640E-15	0.000
APP 2 (NOM_CAS = SPEC_2XAPP2)	NO1	0.0	3.23791215704E-15	0.000
	NO3	-13.7500000158784	-1.375000477E+01	0.000
	NO5	-13.7500000158784	-1.375000477E+01	0.000
APP 3 (NOM_CAS = SPEC_2XAPP3)	NO1	0.0	3.5322691075E-15	0.000
	NO3	-15.0000000173219	-1.500001072E+01	0.000
	NO5	-15.0000000173219	-1.500001072E+01	0.000

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

7 Synthèse des résultats

Parfait accord des résultats *Code_Aster* avec les valeurs de référence analytiques.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)