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 d'appuis décorrélés.

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 ce cas, 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 déplacements suivant les nœuds dans un même groupe de nœud et suivant les groupes de nœud.

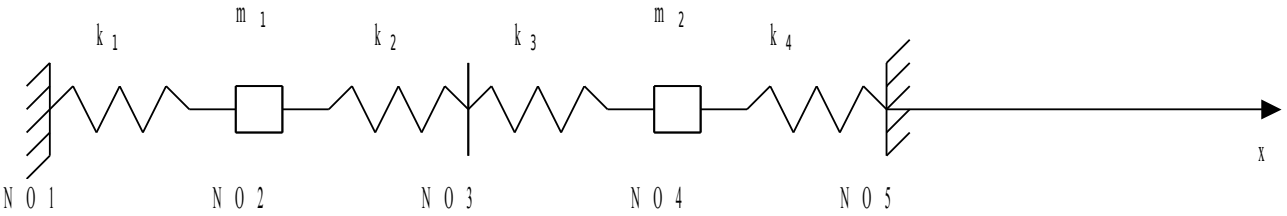
Les résultats obtenus sont en très bon accord avec les résultats analytiques de référence.

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 $NO1$:

$$SRO_{NO1}(f_1)=A_{11}=7\,m/s^2$$
$$SRO_{NO1}(f_2)=A_{21}=5\,m/s^2$$
$$DDS_{NO1}=D_1=-0.04\,m$$

au nœud $NO3$:

$$SRO_{NO3}(f_1)=A_{11}=7.7\,m/s^2$$
$$SRO_{NO3}(f_2)=A_{12}=5.5\,m/s^2$$
$$DDS_{NO3}=D_2=-0.044\,m$$

au nœud $NO5$:

$$SRO_{NO5}(f_1)=A_{21}=12\,m/s^2$$
$$SRO_{NO5}(f_2)=A_{22}=6\,m/s^2$$
$$DDS_{NO5}=D_3=0.06\,m$$

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

Modélisation A:

Les excitations aux nœuds $NO1$ et $NO3$ sont corrélées. On constitue 2 groupes de supports décorrélés : le groupe 1 est composé des nœuds $NO1$ et $NO3$; le groupe 2 est constitué du seul nœud $NO5$.

Modélisation B:

On constitue 2 groupes de supports : le groupe 1 est composé des nœuds $NO1$ et $NO3$; le groupe 2 est constitué du seul nœud $NO5$. On testera les combinaisons suivantes :

- Combinaison linéaire des appuis intra-groupe et des cas
- Combinaison quadratique des appuis intra-groupe et des cas
- Combinaison linéaire des appuis intra-groupe ($NO1$ et $NO3$) et Combinaison quadratique de l'appuis au $NO5$.

La structure est soumise à la même excitation sismique spectrale multiple que celle dénifie la modélisation A mais avec le déplacement imposé suivant :

- $DDS_{NO1} = D_1 = D_2 = -0.04\,m$
- $DDS_{NO5} = D_3 = 0.06\,m$

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

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

- **matrice de masse** M

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

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

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 :

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

- 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 $\mu_i=\phi_i^T M\,\phi_i$:
  - $\mu_1=\mu_2=m$
- modes propres normés à la masse modale généralisée unitaire ϕ_{Nk} :
  - $\Rightarrow\quad\phi_{N1}=\frac{\phi_1}{\sqrt{\mu_1}}\qquad\phi_{N2}=\frac{\phi_2}{\sqrt{\mu_2}}$

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

- **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 : $\varphi_R = \varphi_S \boldsymbol{S_R}$

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

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

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

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 $NO1$:

$$\Rightarrow \quad P_{11}=\Phi_{NI}^{T} M \Psi_{1}=\frac{\sqrt{m}}{2}$$

- contribution du mode dynamique 1 au mouvement imposé au nœud $NO3$:

$$\Rightarrow \quad P_{12}=\Phi_{NI}^{T} M \Psi_{2}=\frac{\sqrt{m}}{2}$$

- contribution du mode dynamique 1 au mouvement imposé au nœud $NO5$:

$$\Rightarrow \quad P_{13}=\Phi_{NI}^{T} M \Psi_{3}=0$$

- 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 : $Rm_{11}=\Phi_{NI} P_{11} \frac{A_{11}}{\omega_{1}^{2}}=\frac{A_{11}}{2\omega_{1}^{2}}\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}$

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

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

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 : $Rm_{22}=\Phi_{N2} P_{22} \frac{A_{22}}{\omega_{2}^{2}}=\frac{A_{22}}{2\omega_{2}^{2}}\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}$

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)**

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

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)**

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

2.2.3 Modélisation B

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

$Re_j = \Psi_j D_j$

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

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

$$R_{e2}=\Psi_{S1}D_2=\begin{bmatrix} 0 \\ D_2/2 \\ D_2 \\ D_2/2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$R_{e3}=\Psi_{S1}D_3=\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ D_3/2 \\ D_3 \end{bmatrix}$$

- **Combinaison linéaire des appuis intra-groupe et des cas**

$$R_{line}=R_{e1}+R_{e2}+R_{e3}=\begin{bmatrix} D_1 \\ D_1/2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} 0 \\ D_2/2 \\ D_2 \\ D_2/2 \\ 0 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ D_3/2 \\ D_3 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} D_1 \\ (D_1+D_2)/2 \\ D_2 \\ (D_2+D_3)/2 \\ D_3 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} -0.04 \\ -0.04 \\ -0.04 \\ 0.01 \\ 0.06 \end{bmatrix}$$

- **Combinaison quadratique des appuis intra-groupe et des cas**

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

$$R_{Quad}=\sqrt{(R_{e1})^2+(R_{e2})^2+(R_{e3})^2}=\begin{bmatrix}\sqrt{(D_1)^2}\\ \sqrt{(D_1/2)^2+(D_2/2)^2}\\ \sqrt{(D_2)^2}\\ \sqrt{(D_2/2)^2+(D_3/2)^2}\\ \sqrt{(D_3)^2}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.04\\ 0.028284271\\ 0.04\\ 0.036055513\\ 0.06\end{bmatrix}$$

- **Combinaison linéaire des appuis intra-groupe ($NO1$ et $NO3$) et Combinaison quadratique de l'appuis au $NO5$:**

$$R_{Quad}=\sqrt{(R_{e1}+R_{e2})^2+(R_{e3})^2}=\begin{bmatrix}\sqrt{(D_1)^2}\\ \sqrt{(D_1/2+D_2/2)^2}\\ \sqrt{(D_2)^2}\\ \sqrt{(D_2/2)^2+(D_3/2)^2}\\ \sqrt{(D_3)^2}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.04\\ 0.04\\ 0.04\\ 0.036055513\\ 0.06\end{bmatrix}$$

2.3 Incertitude sur la solution

Aucune (solution analytique)

3 Modélisation A

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 $NO5$.

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

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

3.3.2 Modélisation B

- **Combinaison linéaire des appuis intra-groupe et des cas**

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

  Résultat des occurrences du mot-clé DEPL_MULT_APPUI:
  - cas 1: groupN1 avec DX = -0.04 m
  - cas 2: groupN2 avec DX = 0.06 m

  Réponse produite par le mot-clé COMB_DEPL_APPUI:
  - Liste des cas: cas 1 et 2
  - Règle de combinaison des cas: Linéaire

- **Combinaison quadratique des appuis intra-groupe et des cas**

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

  Résultat des occurrences du mot-clé DEPL_MULT_APPUI :
  - cas 1 : groupN1 avec DX = -0.04 m
  - cas 2 : groupN2 avec DX = 0.06m

  Réponse produite par le mot-clé COMB_DEPL_APPUI :
  - Liste des cas : cas 1 et 2
  - Règle de combinaison des cas : Quadratique

- **Combinaison linéaire des appuis intra-groupe ($NO1$ et $NO3$) et Combinaison quadratique de l'appuis au $NO5$**

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

  Résultat 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 et 2
  - Règle de combinaison des cas 1 et 2 : Linéaire
  - Règle de combinaison globale : Quadratique

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

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 (primaire) et statique (secondaire) 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

5 Résultats de la modélisation A

5.1 Combinaison linéaire des appuis intra-groupe et des cas

- déplacements absolus : DEPL

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

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

5.2 Combinaison quadratique des appuis intra-groupe et des cas

- déplacements absolus : DEPL

NOEUD	Référence	Code_Aster	Erreur relative (%)
NO1	0.04	4.0000000000E-02	0.000
NO2	0.028284271	2.8284271247E-02	-0.000000873
NO3	0.04	4.0000000000E-02	0.000
NO4	0.036055513	3.6055512754E-02	0.000000682
NO5	0.06	6.0000000000E-02	0.000

5.3 Combinaison linéaire des appuis intra-groupe (*NO1* et *NO3*) et Combinaison quadratique de l'appuis au *NO5*

- 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

6 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)