

SDLL23 - Poutre encastrée-libre soumise à un séisme (réponse spectrale)

Résumé

Ce problème unidirectionnel consiste à effectuer une analyse sismique spectrale d'une poutre encastrée-libre, munie de deux masses localisées, soumise à une excitation tridimensionnelle fournie sous la forme d'un spectre d'oscillateurs en pseudo-accélération.

Par l'intermédiaire de ce problème, on teste les combinaisons modales DPC, SRSS, CQC et DSC de l'opérateur `COMB_SISM_MODAL`. La combinaison SRSS est testée avec prise en compte des modes négligés.

Par ailleurs, on teste les opérateurs `CALC_MODES`, `NORM_MODE`, `MODE_STATIQUE`, `DEFI_FONCTION` et `DEFI_NAPPE`.

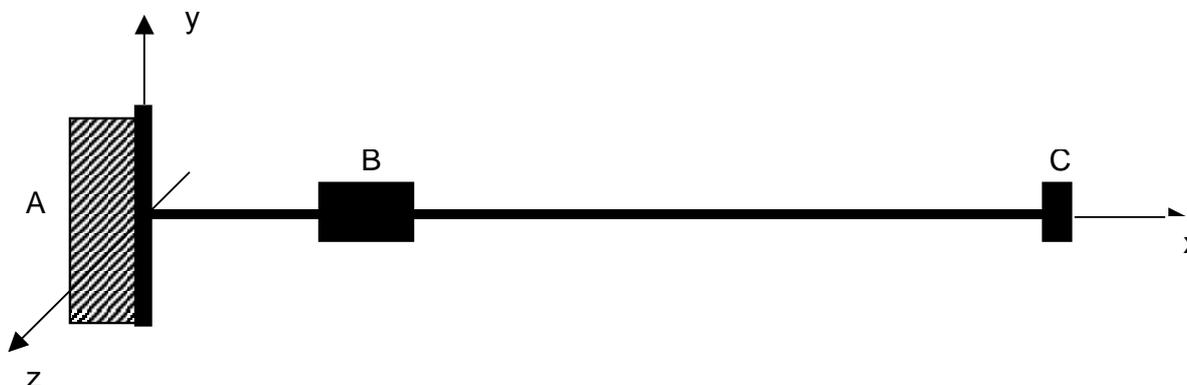
Concernant la modélisation A, les résultats obtenus, relatifs à des poutres d'Euler, sont en accord avec les résultats d'autres codes, pour les cas sans prise en compte du pseudo-mode. Les différences avec les résultats de référence dans le cas où on prend en compte le pseudo-mode s'expliquent par une hypothèse de calcul différente pour la détermination de ce pseudo-mode.

La modélisation B, en poutres d'Euler, est relative à un maillage plus raffiné que celui de la modélisation A.

La modélisation C comporte des poutres de Timoshenko et est relative à un maillage identique à celui de la modélisation B ; les résultats montrent des écarts non négligeables avec la modélisation en poutres d'Euler et sont très sensibles au coefficient de cisaillement.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Longueur de la poutre : $l = 10 \text{ m}$

La masse B est à une distance de $0,5 \text{ m}$ du point A .

Section transversale de la poutre :

$$\begin{aligned} \text{Aire :} & \quad A = 78.1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ \text{Moments d'inertie :} & \quad I_y = 5696 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \\ & \quad I_z = 2003 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \\ & \quad J_x = 7699 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

1.2 Propriétés de matériaux

| | | | |
|--------|------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Poutre | module d'Young | $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$ | (masse de la poutre nulle) |
| | masse volumique | $\rho = 0 \text{ kg/m}^3$ | |
| | coefficient de Poisson | $\nu = 0,3$ | |

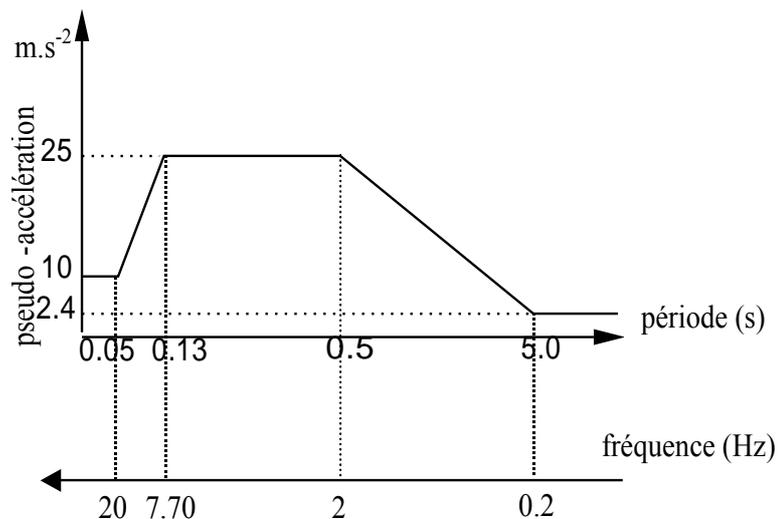
Masse en B $m_B = 50000 \text{ kg}$

Masse en C $m_C = 5000 \text{ kg}$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Point A encastéré.

Spectre d'oscillateur en accélération appliqué en A dans les trois directions, de même valeur pour les 3 amortissements 0,5%, 1% et 1,5%.



Pour le calcul, on utilise un amortissement réduit de 1% , avec une interpolation (LOG LOG) en fréquence et (LIN LOG) en amortissement.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Modélisation A :

Guide VPCS (non paru) : comparaison avec les codes STRUDL, POUX, SYSTUS, CASTOR, SAP IV [1].

Pour la comparaison de la méthode CQC, comparaison avec Castem2000.

Modélisation B et modélisation C : non régression

2.2 Résultats de référence

6 premières fréquences propres et facteurs de participation.

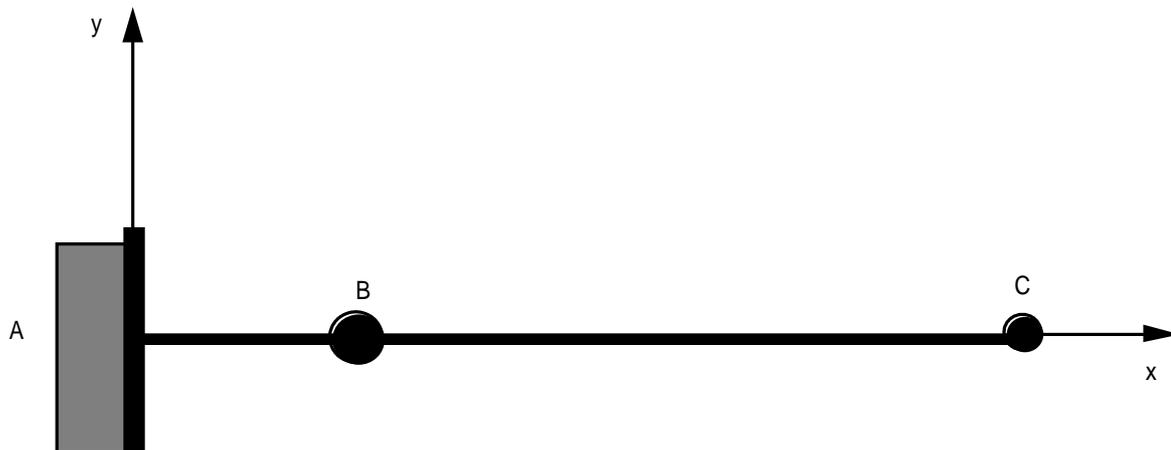
Déplacements des points B et C , réaction nodale au point A (réponse sur 3 modes pour les combinaisons DPC et SRSS, réponse sur 6 modes pour les combinaisons DPC, CQC et DSC).

2.3 Références bibliographiques

- [1] J. PIRANDA, Laboratoire de Mécanique Appliquée - Université de Franche Comté Besançon (France). Fiche SFM – Validation des Progiciels de Calculs de Structures – Groupe Analyse Dynamique, juin 1991. Guide VPCS 1991 non paru.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation



Poutre droite modélisée par 3 nœuds et 2 `SEG2` de type `POU_D_E`
Masse modélisée par des éléments `discretsM_T_N`

Cette modélisation contenant 2 éléments seulement est insuffisamment raffinée pour permettre une bonne représentation des 6 premiers modes. Elle est néanmoins conservée dans ce cas-test pour comparaison avec d'autres codes ainsi qu'indiqué dans le guide VPCS.

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 3

Nombre de mailles et types : 2 `SEG2` (`POU_D_E`), 2 `POI1` (`DIS_T_N`)

3.3 Paramètres de modélisation

Réponse sur les 3 premiers modes sans correction statique (combinaison des réponses modales DPC)

Réponse sur les 6 modes (combinaison des réponses modales DPC, CQC, DSC durée : 5 s)

Réponse sur les 3 premiers modes avec correction statique des 3 modes négligés (combinaison des réponses modales SRSS)

Combinaison quadratique des réponses directionnelles (`QUAD`).

3.4 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs de référence sont les moyennes des résultats des codes comparés, ainsi des valeurs de non régression pour le calcul avec correction statique.

| Identification | | | Référence VPCS | Tolérance | Référence non régression | Tolérance |
|--|-------------|--------------------------|-------------------|-----------|-----------------------------|-----------|
| Fréquences propres | | | | | | |
| | | 1 | 0.24691 | 0.01 | | |
| | | 2 | 0.41666 | 0.01 | | |
| | | 3 | 7.4074 | 0.01 | | |
| | | 4 | 12.5 | 0.01 | | |
| | | 5 | 27.777 | 0.01 | | |
| | | 6 | 41.666 | 0.01 | | |
| Direction | numéro_mode | Facteur de participation | | | | |
| DY | 1 | 73.3 | | 0.01 | | |
| DZ | 2 | 73.3 | | 0.01 | | |
| DY | 3 | 223. | | 0.01 | | |
| DZ | 4 | -223. | | 0.01 | | |
| DX | 5 | 130. | | 0.01 | | |
| DX | 6 | 195. | | 0.01 | | |
| Réponse sur 3 modes (DPC) | | | | | | |
| DEPL | B | DY | 1.254E-02 | 0.02 | | |
| | B | DZ | 2.8E-03 | 0.02 | | |
| | C | DY | 1.269 | 0.02 | | |
| | C | DZ | 7.574E-01 | 0.02 | | |
| REAC | A | DX | 0.000 | 0.001 | | |
| | A | DY | 1.231E+06 | 0.02 | | |
| | A | DZ | 2.7E+04 | 0.02 | | |
| | A | DRY | 2.56E+05 | 0.03 | | |
| | A | DRZ | 5.91E+05 | 0.02 | | |
| Réponse sur 6 modes (DPC) | | | | | | |
| DEPL | B | DX | 1.32E-04 | 0.02 | | |
| | B | DY | 1.255E-02 | 0.02 | | |
| | B | DZ | 3.829E-03 | 0.02 | | |
| | C | DX | 5.999E-04 | 0.02 | | |
| | C | DY | 1.269 | 0.02 | | |
| | C | DZ | 7.579E-01 | 0.02 | | |
| REAC | A | DX | 4.12E+05 | 0.02 | | |
| | A | DY | 1.227E+06 | 0.02 | | |
| | A | DZ | 7.96E+05 | 0.02 | | |
| | A | DRY | 4.49E+05 | 0.02 | | |
| | A | DRZ | 5.90E+05 | 0.02 | | |
| Réponse (SRSS) sur 3 modes avec correction statique | | | | | | |
| DEPL | B | DX | 1.76E-04 | 1.6 | 4.401E-04 | 0.001 |
| | B | DY | 1.267E-02 | 0.02 | 0.012 | 0.001 |
| | B | DZ | 3.3E-03 | 0.5 | 4.949E-03 | 0.001 |
| | C | DX | 4.8E-04 | 1.6 | 1.200E-03 | 0.001 |
| | C | DY | 1.277 | 0.02 | 1.282 | 0.001 |
| | C | DZ | 0.762 | 0.02 | 0.767 | 0.001 |
| REAC | A | DX | 5.46E+05 | 1.6 | 1.375E+06 | 0.001 |
| | A | DY | 12.30E+05 | 0.02 | 1.241E+06 | 0.001 |
| | A | DZ | 4.90E+05 | 1.6 | 1.241E+06 | 0.001 |

| | | | | | | |
|--------------------------------------|---|-----|------------------------|------|-----------|-------|
| | A | DRY | 3.43E+05 | 0.85 | 6.337E+05 | 0.001 |
| | A | DRZ | 5.91E+05 | 0.02 | 5.969E+05 | 0.001 |
| Réponse sur 6 modes (CQC) | | | | | | |
| DEPL | B | DX | 1.337 10 ⁻⁴ | 0.02 | | |
| | B | DY | 1.247 10 ⁻² | 0.02 | | |
| | B | DZ | 3.814 10 ⁻³ | 0.02 | | |
| | C | DX | 6.012E-4 | 0.02 | | |
| | C | DY | 1.282 | 0.02 | | |
| | C | DZ | 0.767 | 0.02 | | |
| REAC | A | DX | 4.18E+5 | 0.02 | | |
| | A | DY | 12.40E+5 | 0.02 | | |
| | A | DZ | 7.816E+5 | 0.02 | | |
| | A | DRY | 4.481E+5 | 0.02 | | |
| | A | DRZ | 5.969E+5 | 0.02 | | |
| Réponse sur 6 modes (DSC, durée 5 s) | | | | | | |
| DEPL | B | DX | 1.339 10 ⁻⁴ | 0.02 | | |
| | B | DY | 1.248 10 ⁻² | 0.02 | | |
| | B | DZ | 3.816 10 ⁻³ | 0.02 | | |
| | C | DX | 6.009 10 ⁻⁴ | 0.02 | | |
| | C | DY | 1.282 | 0.02 | | |
| | C | DZ | 7.673 10 ⁻¹ | 0.02 | | |
| REAC | A | DX | 4.183 10 ⁵ | 0.02 | | |
| | A | DY | 1.240 10 ⁶ | 0.02 | | |
| | A | DZ | 7.816 10 ⁵ | 0.02 | | |
| | A | DRY | 4.483 10 ⁵ | 0.02 | | |
| | A | DRZ | 5.971 10 ⁵ | 0.02 | | |

3.5 Remarques

Valeur du spectre (interpolation) :

| Mode | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------|-------|-------|-----|-------|-----|-----|
| Spectre | 2.972 | 5.058 | 25. | 15.74 | 10. | 10. |

Matrice de corrélation CQC :

$$\begin{pmatrix}
 1 & 1.38E-3 & 5.05E-6 & 2.27E-6 & 6.85E-7 & 3.65E-7 \\
 & 1 & 1.13E-5 & 5.05E-6 & 1.51E-6 & 8.04E-7 \\
 & & 1 & 1.38E-3 & 1.64E-4 & 7.48E-5 \\
 & & & 1 & 5.61E-4 & 2.04E-4 \\
 & & & & 1 & 2.21E-3 \\
 & & & & & 1
 \end{pmatrix}$$

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Poutre droite modélisée par 22 nœuds et 21 éléments SEG2 de type POU_DE.

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 22

Nombre de mailles et types : 21 SEG2 (POU_D_E), 2 POI1 (DIS_T_N)

4.3 Paramètres de modélisation

Réponse sur les 3 premiers modes sans correction statique (combinaison des réponses modales DPC)

Réponse sur les 6 modes (combinaison des réponses modales DPC, CQC, DSC durée : 5 s)

Réponse sur les 3 premiers modes avec correction statique des 3 modes négligés (combinaison des réponses modales SRSS)

Combinaison quadratique des réponses directionnelles (QUAD).

4.4 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs de référence sont des valeurs de non régression.

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Poutre droite modélisée par 22 nœuds et 21 éléments SEG2 de type POU_D_TG.

Cette modélisation a été rajoutée pour tester l'influence du type d'élément poutre considéré. Les coefficients de cisaillement AY et AZ ($AY = AZ = 6/5$) correspondent à une section rectangle.

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 22

Nombre de mailles et types : 21 SEG2 (POU_D_TG), 2 POI1 (DIS_T_N)

5.3 Paramètres de modélisation

Réponse sur les 3 premiers modes sans correction statique (combinaison des réponses modales DPC)

Réponse sur les 6 modes (combinaison des réponses modales DPC, CQC, DSC durée : 5 s)

Réponse sur les 3 premiers modes avec correction statique des 3 modes négligés (combinaison des réponses modales SRSS).

Combinaison quadratique des réponses directionnelles (QUAD).

5.4 Grandeurs testées et résultats

Les valeurs de référence sont des valeurs de non régression.

6 Synthèse des résultats

Modélisation A :

Cas sans prise en compte du pseudo-mode : parfait accord des résultats *Code_Aster* avec la fiche de validation qui indique une tolérance de 2% sur les valeurs de référence.

Cas avec prise en compte du pseudo-mode : des différences importantes avec la fiche de validation, pouvant aller jusqu'à 160% ; elles s'expliquent par une hypothèse de calcul différente (dans la référence, le pseudo-mode est calculé à partir de la valeur du SRO correspondant à l'asymptote du spectre, alors que, dans *Code_Aster*, le pseudo-mode est calculé à partir de la valeur du SRO correspondant à la dernière fréquence de la base modale considérée). A noter que les valeurs obtenues par *Code_Aster* sont conservatives par rapport à un calcul avec base modale non tronquée avant la fréquence de coupure.

A noter que les modélisations B et C contenant 21 éléments occasionnent un facteur de participation du mode 4 positif, alors qu'il est négatif avec la modélisation A.

Les résultats de la modélisation C (notamment les réactions nodales) sont très sensibles aux valeurs des coefficients de cisaillement.