

## SDNL105 - Sous-structuration transitoire non linéaire : choc de 3 poutres entre elles

---

### Résumé :

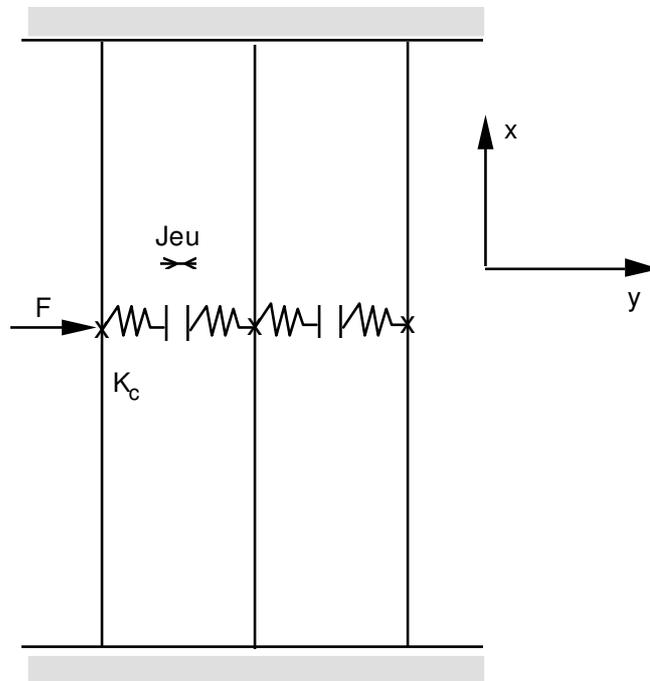
Le domaine d'application de ce test concerne la dynamique des structures, et plus particulièrement le calcul de réponse transitoire non linéaire par sous-structuration dynamique.

Il s'agit de calculer la réponse transitoire non linéaire de 3 poutres en flexion avec chocs au centre des poutres. Les poutres sont modélisées par des éléments de type `POU_D_E` (modèle d'Euler).

Les résultats de référence sont issus d'un calcul transitoire direct par recombinaison modale. Ce test permet donc de valider les outils de calcul de réponse transitoire par sous-structuration, dans le cas de la prise en compte de non-linéarités de type choc entre structures mobiles.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie



La longueur des poutres vaut :  $L = 1 \text{ m}$

Les poutres sont de section circulaire :

- de rayon :  $R = 0.1 \text{ m}$
- d'épaisseur :  $ep = 0.01 \text{ m}$

Le jeu entre les poutres vaut :  $Jeu = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

### 1.2 Propriétés de matériaux

$$E = 1.10^{10} \text{ Pa}$$

$$\nu = 0.3$$

$$\rho = 1.10^8 \text{ kg/m}^3$$

La raideur du ressort de contact vaut :  $K_c = 1.10^8 \text{ N/m}$

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

Sur toute la structure :  $DX = DZ = DRX = DRY = 0$ .

Aux extrémités supérieur et inférieur des poutres :  $DY = DRZ = 0$ .

Au milieu de la poutre de gauche : à partir de l'instant  $t = 0 \text{ s}$ ,  $Fy = -1.10^6 \text{ N}$

### 1.4 Conditions initiales

Structure initialement au repos.

## 2 Solution de référence

### 2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La solution de référence est donnée par un calcul transitoire direct par superposition modale (modélisation A).

### 2.2 Résultats de référence

Valeur des déplacements et vitesse des nœuds des 3 poutres selon la direction  $Y$  et à l'instant  $t = 1 \text{ s}$ .

|   | Déplacement<br>( m ) | Vitesse<br>( $m.s^{-1}$ ) |
|---|----------------------|---------------------------|
| Schéma d'intégration d'Euler                            |                      |                           |
| Poutre de gauche  | $1.64 \cdot 10^{-2}$ | $2.54 \cdot 10^{-2}$      |
| Poutre milieu   | $1.12 \cdot 10^{-2}$ | $4.49 \cdot 10^{-2}$      |
| Poutre de droite  | $5.90 \cdot 10^{-3}$ | $1.05 \cdot 10^{-1}$      |
| Schéma d'intégration de Devogelaere                     |                      |                           |
| Poutre de gauche  | $1.64 \cdot 10^{-2}$ | $2.54 \cdot 10^{-2}$      |
| Poutre milieu   | $1.12 \cdot 10^{-2}$ | $4.41 \cdot 10^{-2}$      |
| Poutre de droite  | $5.89 \cdot 10^{-3}$ | $1.05 \cdot 10^{-1}$      |
| Schéma d'intégration à pas de temps adaptatif d'ordre 2 |                      |                           |
| Poutre de gauche  | $1.64 \cdot 10^{-2}$ | $2.55 \cdot 10^{-2}$      |
| Poutre milieu   | $1.12 \cdot 10^{-2}$ | $4.41 \cdot 10^{-2}$      |
| Poutre de droite  | $5.91 \cdot 10^{-3}$ | $1.05 \cdot 10^{-1}$      |

### 2.3 Incertitude sur la solution

Solution numérique.

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

La poutre est maillée en segments auxquels sont affectés des éléments de type `POU_D_E`.

Le problème transitoire traité, projeté sur la base des 15 premiers modes propres de la structure, est résolu directement par l'opérateur de calcul transitoire par recombinaison modale.

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 41

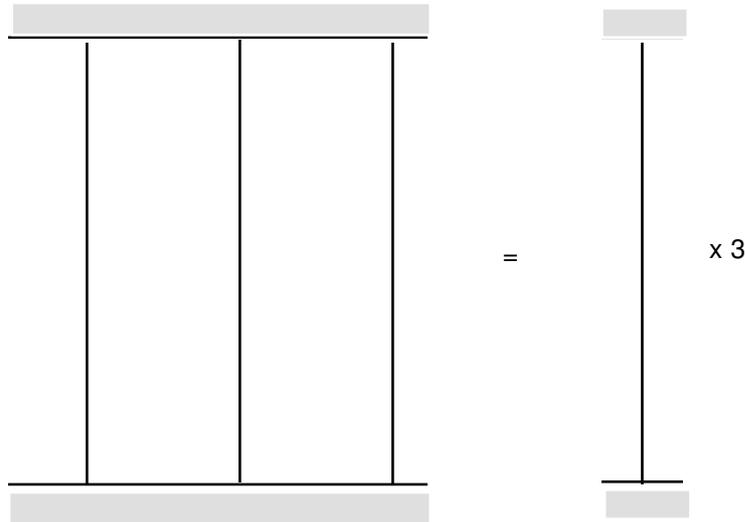
Nombre de mailles et types : 42 `SEG2`

### 3.3 Valeurs observées : référence pour modélisation B

| Identification  | Aster                 |
|---|-----------------------|
| Schéma d'intégration d'Euler                            |                       |
| Poutre de gauche : Déplacement ( $m$ )                  | 1.64 10 <sup>-2</sup> |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )                                  | 2.54 10 <sup>-2</sup> |
| Poutre de milieu : Déplacement ( $m$ )                  | 1.12 10 <sup>-2</sup> |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )                                  | 4.43 10 <sup>-2</sup> |
| Poutre de droite : Déplacement ( $m$ )                  | 5.90 10 <sup>-3</sup> |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )                                  | 1.05 10 <sup>-1</sup> |
| Schéma d'intégration de Devogelaere                     |                       |
| Poutre de gauche : Déplacement ( $m$ )                  | 1.64 10 <sup>-2</sup> |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )                                  | 2.54 10 <sup>-2</sup> |
| Poutre de milieu : Déplacement ( $m$ )                  | 1.12 10 <sup>-2</sup> |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )                                  | 4.41 10 <sup>-2</sup> |
| Poutre de droite : Déplacement ( $m$ )                  | 5.89 10 <sup>-3</sup> |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )                                  | 1.05 10 <sup>-1</sup> |
| Schéma d'intégration à pas de temps adaptatif d'ordre 2 |                       |
| Poutre de gauche : Déplacement ( $m$ )                  | 1.64 10 <sup>-2</sup> |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )                                  | 2.55 10 <sup>-2</sup> |
| Poutre de milieu : Déplacement ( $m$ )                  | 1.12 10 <sup>-2</sup> |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )                                  | 4.41 10 <sup>-2</sup> |
| Poutre de droite : Déplacement ( $m$ )                  | 5.91 10 <sup>-3</sup> |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )                                  | 1.05 10 <sup>-1</sup> |

## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation



La sous-structuration dynamique permet de calculer le comportement vibratoire des 3 poutres à partir des caractéristiques dynamiques d'une seule poutre. Celle-ci est maillée en segments auxquels sont affectés des éléments de type `POU_D_E`.

La structure est étudiée à l'aide de la méthode de sous-structuration avec interfaces de type "Craig-Bampton" (interfaces bloquées).

La base des 15 premiers modes propres de la structure complète est calculée par sous-structuration. Puis le problème transitoire, projeté sur cette base, est résolu par l'opérateur de calcul transitoire par recombinaison modale.

### 4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 15

Nombre de mailles et types : 14 `SEG2`

## 4.3 Grandeurs testées et résultats

| Identification   | Référence            | Aster             | % différence |
|--|----------------------|-------------------|--------------|
| <b>Schéma d'intégration d'Euler</b>                            |                      |                   |              |
| Poutre de gauche : Déplacement ( $m$ )                         | $1.64 \cdot 10^{-2}$ | 1.64<br>$10^{-2}$ |              |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )   | $2.54 \cdot 10^{-2}$ | 2.54<br>$10^{-2}$ |              |
| Poutre de milieu : Déplacement ( $m$ )                         | $1.12 \cdot 10^{-2}$ | 1.12<br>$10^{-2}$ | < 0.01 %     |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )   | $4.43 \cdot 10^{-2}$ | 4.43<br>$10^{-2}$ |              |
| Poutre de droite : Déplacement ( $m$ )                         | $5.90 \cdot 10^{-3}$ | 5.90<br>$10^{-3}$ |              |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )   | $1.05 \cdot 10^{-1}$ | 1.05<br>$10^{-1}$ |              |
| <b>Schéma d'intégration de Devogelaere</b>                     |                      |                   |              |
| Poutre de gauche : Déplacement ( $m$ )                         | $1.64 \cdot 10^{-2}$ | 1.64<br>$10^{-2}$ |              |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )   | $2.54 \cdot 10^{-2}$ | 2.54<br>$10^{-2}$ |              |
| Poutre de milieu : Déplacement ( $m$ )                         | $1.12 \cdot 10^{-2}$ | 1.12<br>$10^{-2}$ | < 0.01 %     |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )   | $4.41 \cdot 10^{-2}$ | 4.41<br>$10^{-2}$ |              |
| Poutre de droite : Déplacement ( $m$ )                         | $5.89 \cdot 10^{-3}$ | 5.89<br>$10^{-3}$ |              |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )   | $1.05 \cdot 10^{-1}$ | 1.05<br>$10^{-1}$ |              |
| <b>Schéma d'intégration à pas de temps adaptatif d'ordre 2</b> |                      |                   |              |
| Poutre de gauche : Déplacement ( $m$ )                         | $1.64 \cdot 10^{-2}$ | 1.64<br>$10^{-2}$ |              |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )   | $2.55 \cdot 10^{-2}$ | 2.55<br>$10^{-2}$ |              |
| Poutre de milieu : Déplacement ( $m$ )                         | $1.12 \cdot 10^{-2}$ | 1.12<br>$10^{-2}$ | < 0.01 %     |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )   | $4.41 \cdot 10^{-2}$ | 4.41<br>$10^{-2}$ |              |
| Poutre de droite : Déplacement ( $m$ )                         | $5.91 \cdot 10^{-3}$ | 5.91<br>$10^{-3}$ |              |
| Vitesse ( $m.s^{-1}$ )   | $1.05 \cdot 10^{-1}$ | 1.05<br>$10^{-1}$ |              |

## 5 Synthèse des résultats

---

La précision sur les déplacements et les vitesses des nœuds milieux des 3 poutres à l'instant  $t = 1\text{ s}$  est excellente (erreur relative  $< 0.01\text{ s}$ ).

Ce test valide donc les opérateurs de calcul transitoire non-linéaire par sous-structuration dynamique.