

SDNV108 – Cylindre volumique creux en rotation autour de son axe, prise en compte de la gyroscopie

Résumé :

Ce test permet de valider le calcul des modes en rotation d'un modèle volumique avec et sans raideur gyroscopique.

Il s'agit d'un modèle simple de cylindre creux, libre-libre en rotation autour de son axe. Cet exemple est tiré de la référence [1].

Les résultats des calculs sont comparés avec ceux obtenus avec ANSYS[®]. Les résultats coïncident parfaitement avec la solution de référence.

Table des matières

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Problème de référence..... | 3 |
| 1.1 | Géométrie..... | 3 |
| 1.2 | Propriétés de matériaux..... | 3 |
| 1.3 | Conditions aux limites et chargements..... | 3 |
| 2 | Solution de référence..... | 3 |
| 3 | Modélisation A..... | 4 |
| 3.1 | Caractéristiques de la modélisation..... | 4 |
| 3.2 | Caractéristiques du maillage..... | 4 |
| 3.3 | Résultats : comparaison entre les calculs de Code_Aster et ANSYS..... | 4 |
| 4 | Modélisation B..... | 6 |
| 4.1 | Caractéristiques de la modélisation..... | 6 |
| 4.2 | Caractéristiques du maillage..... | 6 |
| 4.3 | Résultats : comparaison entre les calculs de Code_Aster et ANSYS..... | 6 |
| 5 | Modélisation C..... | 8 |
| 5.1 | Caractéristiques de la modélisation..... | 8 |
| 5.2 | Caractéristiques du maillage..... | 8 |
| 5.3 | Résultats : comparaison entre les calculs de Code_Aster et ANSYS..... | 8 |
| 6 | Synthèse des résultats..... | 10 |

1 Problème de référence

L'objectif de ce cas test est de valider la modélisation gyroscopique en 3D d'un cylindre plein (options MECA_GYRO et RIGI_ROTA) dans Code_Aster.

On compare les résultats obtenus par la modélisation de Code_Aster avec ceux obtenus dans ANSYS.

1.1 Géométrie

On considère un cylindre creux de longueur $L=0,254\text{ m}$, de rayon $R=0,09525\text{ m}$ et d'épaisseur $E_p=0,03810\text{ m}$.

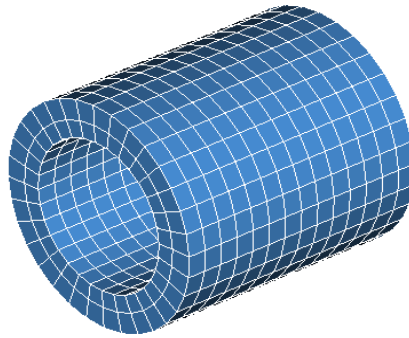


Image 1.1-1: Géométrie du cylindre creux

1.2 Propriétés de matériaux

Le cylindre a une masse volumique de $\rho=7860\text{ kg/m}^3$.

Le module d'Young est $E=207.10^9\text{ N m}^{-2}$ et le coefficient de Poisson est $\nu=0,28$.

1.3 Conditions aux limites et chargements

Le cylindre est en configuration libre-libre. Il est à l'arrêt ou en rotation à 1000, 2000 et 3000 tr/min.

2 Solution de référence

La solution de référence est un calcul 3D effectué avec ANSYS V14.

1. ANSYS V14.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Le rotor est modélisé par des éléments volumiques linéaires (modélisation '3D', MECA_HEXA8).

CALC_MODES calcule les modes propres à l'arrêt (ie. sans amortissement gyroscopique) et en rotation, ie. avec amortissement gyroscopique (option MECA_GYRO), mais en tenant compte ou pas de l'effet d'adoucissement par la raideur centrifuge (option RIGI_ROTA).

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles HEXA8 896

Tableau 3.2-1

3.3 Résultats : comparaison entre les calculs de Code_Aster et ANSYS

Le tableau 3.3-1 donne les valeurs numériques testées dans ce cas-test. Il s'agit des fréquences propres du cylindre en configuration libre-libre à l'arrêt et à 3000 tr/min.

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | Tolérance |
|----------------|-------------------|---------------------|-----------|
| Mode 1 | 'EXTERNE' | 2627,2 | 6,00% |
| Mode 2 | 'EXTERNE' | 2627,6 | 6,00% |
| Mode 3 | 'EXTERNE' | 3017,1 | 4,00% |
| Mode 4 | 'EXTERNE' | 3017,3 | 4,00% |
| Mode 5 | 'EXTERNE' | 6276,1 | 1,00% |
| Mode 6 | 'EXTERNE' | 6276,1 | 1,00% |
| Mode 7 | 'EXTERNE' | 6327 | 1,00% |
| Mode 8 | 'EXTERNE' | 6487,5 | 2,00% |
| Mode 9 | 'EXTERNE' | 6487,6 | 2,00% |
| Mode 10 | 'EXTERNE' | 6937,8 | 4,00% |
| Mode 11 | 'EXTERNE' | 6938,8 | 4,00% |
| Mode 12 | 'EXTERNE' | 7090,9 | 3,00% |
| Mode 13 | 'EXTERNE' | 7091 | 3,00% |
| Mode 14 | 'EXTERNE' | 7410,5 | 4,00% |

Tableau 3.3-1: Récapitulatif des résultats testés à l'arrêt

L'écart à l'arrêt entre les deux modèles semble important (jusqu'à 6%). L'explication réside dans le fait que le code ANSYS sous-intègre les éléments volumiques linéaires. Code_Aster ne permettant pas la sous-intégration des éléments HEXA8, nous avons utilisé une intégration exacte. On ne peut donc vérifier si l'écart diminue avec ces éléments. Par contre, Code_Aster permet la sous-intégration pour les éléments HEXA20 (cf. modélisations B et C).

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | Tolérance |
|----------------|-------------------|---------------------|-----------|
| Mode 1 | ' EXTERNE ' | 53,42 | 1,00% |
| Mode 2 | ' EXTERNE ' | 100 | 1,00% |
| Mode 3 | ' EXTERNE ' | 2588,8 | 6,00% |
| Mode 4 | ' EXTERNE ' | 2666,6 | 6,00% |
| Mode 5 | ' EXTERNE ' | 2982,4 | 4,00% |
| Mode 6 | ' EXTERNE ' | 3052,4 | 4,00% |
| Mode 7 | ' EXTERNE ' | 6256,1 | 1,00% |
| Mode 8 | ' EXTERNE ' | 6296,5 | 1,00% |
| Mode 9 | ' EXTERNE ' | 6326,2 | 1,00% |
| Mode 10 | ' EXTERNE ' | 6455,1 | 2,00% |
| Mode 11 | ' EXTERNE ' | 6520,1 | 2,00% |

Tableau 3.3-2: Récapitulatif des résultats testés en rotation sans adoucissement centrifuge

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | Tolérance |
|----------------|-------------------|---------------------|-----------|
| Mode 1 | ' EXTERNE ' | 26,63 | 1,00% |
| Mode 2 | ' EXTERNE ' | 26,63 | 1,00% |
| Mode 3 | ' EXTERNE ' | 50 | 1,00% |
| Mode 4 | ' EXTERNE ' | 50 | 1,00% |
| Mode 5 | ' EXTERNE ' | 2588,4 | 6,00% |
| Mode 6 | ' EXTERNE ' | 2666,1 | 6,00% |
| Mode 7 | ' EXTERNE ' | 2982,1 | 4,00% |
| Mode 8 | ' EXTERNE ' | 3052 | 4,00% |
| Mode 9 | ' EXTERNE ' | 6255,8 | 1,00% |
| Mode 10 | ' EXTERNE ' | 6296,2 | 1,00% |
| Mode 11 | ' EXTERNE ' | 6326 | 1,00% |
| Mode 12 | ' EXTERNE ' | 6455 | 2,00% |
| Mode 13 | ' EXTERNE ' | 6519,9 | 2,00% |

Tableau 3.3-3: Récapitulatif des résultats testés en rotation avec adoucissement centrifuge

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Le rotor est modélisé par des éléments volumiques quadratiques (modélisation '3D', MECA_HEX20).

CALC_MODES calcule les modes propres à l'arrêt (ie. sans amortissement gyroscopique) et en rotation, ie. avec amortissement gyroscopique (option MECA_GYRO), mais en tenant compte ou pas de l'effet d'adoucissement par la raideur centrifuge (option RIGI_ROTATA).

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles HEXA20 112

Tableau 4.2-1

4.3 Résultats : comparaison entre les calculs de Code_Aster et ANSYS

Le tableau 4.3-1 donne les valeurs numériques testées dans ce cas-test. Il s'agit des fréquences propres du cylindre en configuration libre-libre à l'arrêt et à 3000 tr/min.

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | Tolérance |
|----------------|-------------------|---------------------|-----------|
| Mode 1 | 'EXTERNE' | 2562,08 | 3,00% |
| Mode 2 | 'EXTERNE' | 2562,08 | 3,00% |
| Mode 3 | 'EXTERNE' | 2962,72 | 2,00% |
| Mode 4 | 'EXTERNE' | 2962,72 | 2,00% |
| Mode 5 | 'EXTERNE' | 6231,34 | 1,00% |
| Mode 6 | 'EXTERNE' | 6231,34 | 1,00% |
| Mode 7 | 'EXTERNE' | 6313,73 | 1,00% |
| Mode 8 | 'EXTERNE' | 6420,42 | 1,00% |
| Mode 9 | 'EXTERNE' | 6420,42 | 1,00% |
| Mode 10 | 'EXTERNE' | 6658,75 | 3,00% |
| Mode 11 | 'EXTERNE' | 6658,75 | 3,00% |
| Mode 12 | 'EXTERNE' | 7040,85 | 1,00% |
| Mode 13 | 'EXTERNE' | 7040,85 | 1,00% |
| Mode 14 | 'EXTERNE' | 7159,02 | 3,00% |

Tableau 4.3-1: Récapitulatif des résultats testés à l'arrêt (éléments HEXA20)

L'écart à l'arrêt entre les deux modèles semble important (écart maximal de 3%). L'explication réside dans le fait que le code ANSYS sous-intègre les éléments volumiques quadratiques (cf. modélisation C) alors que cette modélisation utilise des éléments avec une intégration exacte.

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | Tolérance |
|----------------|-------------------|---------------------|-----------|
| Mode 1 | ' EXTERNE ' | 53,26 | 2,00% |
| Mode 2 | ' EXTERNE ' | 100 | 1,00% |
| Mode 3 | ' EXTERNE ' | 2524,2 | 3,00% |
| Mode 4 | ' EXTERNE ' | 2601,5 | 3,00% |
| Mode 5 | ' EXTERNE ' | 2928,5 | 2,00% |
| Mode 6 | ' EXTERNE ' | 2998,1 | 2,00% |
| Mode 7 | ' EXTERNE ' | 6211,4 | 1,00% |
| Mode 8 | ' EXTERNE ' | 6251,8 | 1,00% |
| Mode 9 | ' EXTERNE ' | 6313 | 1,00% |
| Mode 10 | ' EXTERNE ' | 6388,2 | 1,00% |

Tableau 4.3-2: Récapitulatif des résultats testés en rotation sans adoucissement centrifuge

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | Tolérance |
|----------------|-------------------|---------------------|-----------|
| Mode 1 | ' EXTERNE ' | 26,63 | 2,00% |
| Mode 2 | ' EXTERNE ' | 26,63 | 2,00% |
| Mode 3 | ' EXTERNE ' | 50 | 1,00% |
| Mode 4 | ' EXTERNE ' | 50 | 1,00% |
| Mode 5 | ' EXTERNE ' | 2523,74 | 3,00% |
| Mode 6 | ' EXTERNE ' | 2600,99 | 3,00% |
| Mode 7 | ' EXTERNE ' | 2928,09 | 2,00% |
| Mode 8 | ' EXTERNE ' | 2997,72 | 2,00% |
| Mode 9 | ' EXTERNE ' | 6211,33 | 1,00% |
| Mode 10 | ' EXTERNE ' | 6251,73 | 1,00% |
| Mode 11 | ' EXTERNE ' | 6312,84 | 1,00% |
| Mode 12 | ' EXTERNE ' | 6388,03 | 1,00% |

Tableau 4.3-3: Récapitulatif des résultats testés en rotation avec adoucissement centrifuge

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Le rotor est modélisé par des éléments volumiques quadratiques (modélisation '3D_SI', MECA_HEX20).

CALC_MODES calcule les modes propres à l'arrêt (ie. sans amortissement gyroscopique) et en rotation, ie. avec amortissement gyroscopique (option MECA_GYRO), mais en tenant compte ou pas de l'effet d'adoucissement par la raideur centrifuge (option RIGI_ROTA).

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles HEX20 112

Tableau 5.2-1

5.3 Résultats : comparaison entre les calculs de Code_Aster et ANSYS

Le tableau 5.3-3 donne les valeurs numériques testées dans ce cas-test. Il s'agit des fréquences propres du cylindre en configuration libre-libre à l'arrêt et à 3000 tr/min.

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | Tolérance |
|----------------|-------------------|---------------------|-----------|
| Mode 1 | 'EXTERNE' | 2562,08 | 2,00% |
| Mode 2 | 'EXTERNE' | 2562,08 | 2,00% |
| Mode 3 | 'EXTERNE' | 2962,72 | 1,00% |
| Mode 4 | 'EXTERNE' | 2962,72 | 1,00% |
| Mode 5 | 'EXTERNE' | 6231,34 | 1,00% |
| Mode 6 | 'EXTERNE' | 6231,34 | 1,00% |
| Mode 7 | 'EXTERNE' | 6313,73 | 1,00% |
| Mode 8 | 'EXTERNE' | 6420,42 | 1,00% |
| Mode 9 | 'EXTERNE' | 6420,42 | 1,00% |
| Mode 10 | 'EXTERNE' | 6658,75 | 2,00% |
| Mode 11 | 'EXTERNE' | 6658,75 | 2,00% |
| Mode 12 | 'EXTERNE' | 7040,85 | 1,00% |
| Mode 13 | 'EXTERNE' | 7040,85 | 1,00% |
| Mode 14 | 'EXTERNE' | 7159,02 | 2,00% |

Tableau 5.3-1: Récapitulatif des résultats testés à l'arrêt (éléments HEX20)

Avec la sous-intégration, on constate effectivement que l'écart entre Code_Aster et ANSYS diminue de 3% à 1,5% au maximum.

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | Tolérance |
|----------------|-------------------|---------------------|-----------|
| Mode 1 | ' EXTERNE ' | 53,26 | 2,00% |
| Mode 2 | ' EXTERNE ' | 100 | 1,00% |
| Mode 3 | ' EXTERNE ' | 2524,2 | 2,00% |
| Mode 4 | ' EXTERNE ' | 2601,5 | 2,00% |
| Mode 5 | ' EXTERNE ' | 2928,5 | 2,00% |
| Mode 6 | ' EXTERNE ' | 2998,1 | 2,00% |
| Mode 7 | ' EXTERNE ' | 6211,4 | 1,00% |
| Mode 8 | ' EXTERNE ' | 6251,8 | 1,00% |
| Mode 9 | ' EXTERNE ' | 6313 | 1,00% |
| Mode 10 | ' EXTERNE ' | 6388,2 | 1,00% |

Tableau 5.3-2: Récapitulatif des résultats testés en rotation sans adoucissement centrifuge

| Identification | Type de référence | Valeur de référence | Tolérance |
|----------------|-------------------|---------------------|-----------|
| Mode 1 | ' EXTERNE ' | 26,63 | 2,00% |
| Mode 2 | ' EXTERNE ' | 26,63 | 2,00% |
| Mode 3 | ' EXTERNE ' | 50 | 1,00% |
| Mode 4 | ' EXTERNE ' | 50 | 1,00% |
| Mode 5 | ' EXTERNE ' | 2523,74 | 2,00% |
| Mode 6 | ' EXTERNE ' | 2600,99 | 2,00% |
| Mode 7 | ' EXTERNE ' | 2928,09 | 2,00% |
| Mode 8 | ' EXTERNE ' | 2997,72 | 2,00% |
| Mode 9 | ' EXTERNE ' | 6211,33 | 1,00% |
| Mode 10 | ' EXTERNE ' | 6251,73 | 1,00% |
| Mode 11 | ' EXTERNE ' | 6312,84 | 1,00% |
| Mode 12 | ' EXTERNE ' | 6388,03 | 1,00% |

Tableau 5.3-3 : Récapitulatif des résultats testés en rotation avec adoucissement centrifuge

6 Synthèse des résultats

Le cas-test met en œuvre la rotation d'un cylindre creux autour de son axe. La modélisation 3D de la gyroscopie programmée dans Code_Aster est ainsi validée par rapport aux résultats obtenus avec le modèle équivalent 3D dans ANSYS.