

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 $E_p=0,03810\text{ m}$.

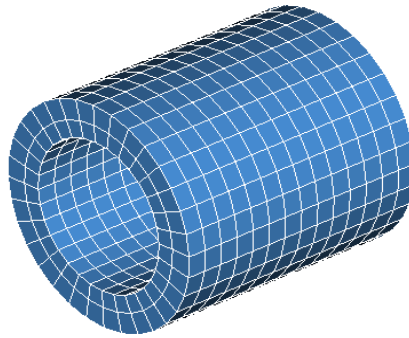


Image 1.1-1: Géométrie du cylindre creux

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_HEXA20).

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_ROTATION).

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.