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.

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

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

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

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 $L=0,254\,m$, de rayon $R=0,09525\,m$ et d'épaisseur $Ep=0,03810\,m$.

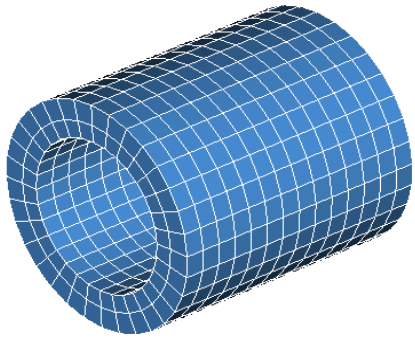

Image 1.1-1: Géométrie du cylindre creux

1.2 Propriétés de matériaux

Le cylindre a une masse volumique de $\rho=7\,860\,kg/m^3$.
Le module d'Young est $E=207.10^9\,N\,m^{-2}$ 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.

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

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).

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

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

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

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_ROTA).

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.

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

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

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Le rotor est modélisé par des éléments volumiques quadratiques (modélisation '3D_SI', MECA_HEXS20).

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 HEXS20 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 HEXS20)

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

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

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

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

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.

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