SDLL125 - Poutre en rotation avec 2 disques et 2 paliers non symétriques soumise à la gyroscopie

Résumé :

Ce test permet de valider le calcul des modes en rotation d'un système d'arbres tournant selon l'axe de rotation Z avec la commande CALC_MODE_ROTATION et de mettre en évidence l'instabilité. Cette validation concerne aussi bien les vitesses de rotation positives (modélisation A) que les vitesses de rotation négatives (modélisation B). La modélisation C, quant à elle, valide la prise en compte d'un système d'arbres tournant selon l'axe de rotation Y.

Dans ce test, on a un modèle de rotor avec deux disques, supporté par deux paliers hydrodynamiques, dont les matrices de raideur et d'amortissement sont non symétriques. Cet exemple ainsi que les résultats de référence correspondants sont tirés du manuel de qualification de ROTORINSA, [bib2], logiciel éléments finis destiné à prévoir le comportement dynamique de rotors en flexion.

Une bonne concordance est observée entre les résultats de Code_Aster et la solution de référence.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Un modèle de rotor supporté par 2 paliers (nœuds $B1$ et $B2$ sur la figure ci-dessous), dont les matrices de raideur et d'amortissement sont non symétriques. Il est composé de 3 disques, et 3 sections d'arbre.

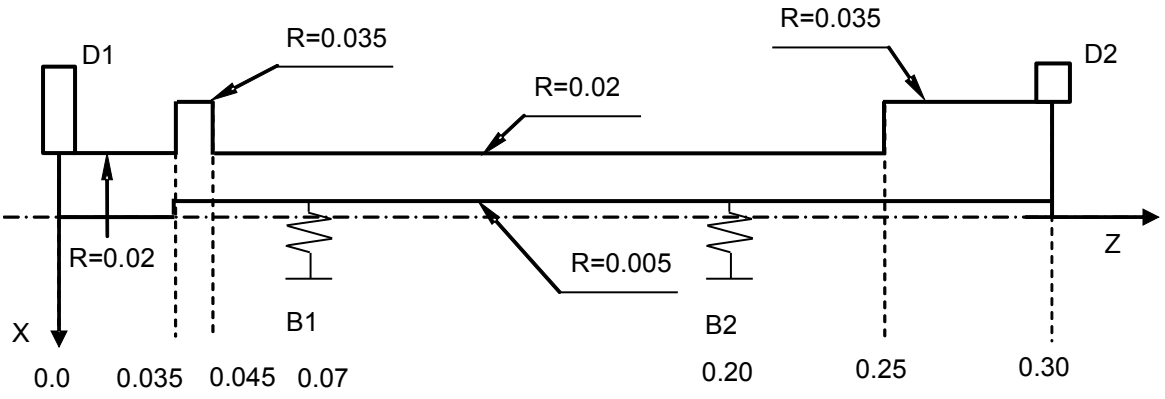


Figure 1.1-a-a : Modèle de rotor avec 2 disques et 2 paliers asymétriques

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

1.2 Propriétés du matériau

Les caractéristiques géométriques et matériau sont listées dans le tableau suivant.

Matériau		$E=2.10^{11}N/m^2$	$\rho=7800\,kg/m^3$	$\nu=0.3$
Disque	$D1$	$M=3.5\,kg$	$I_D=3.5\,10^{-3}\,kg\,m^2$	$I_P=7.10^{-3}\,kg\,m^2$
	$D2$	$M=3.0\,kg$	$I_D=3.0\,10^{-3}\,kg\,m^2$	$I_P=6.10^{-3}\,kg\,m^2$

1.3 Conditions aux limites

Pour bloquer les mouvements de type corps rigide dans la direction Z, on bloque le degré de liberté DZ au nœud palier $B1$.

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

Les résultats de référence sont donnés par ROTORINSA, code aux éléments finis destiné à prévoir le comportement dynamique de rotors en flexion. Les paramètres suivants ont été utilisés pour les résultats de référence :

- Le calcul porte sur un nombre de modes en rotation $NVES=8+4$, dans ROTORINSA.
- La plage de vitesses de rotation est définie de 0 à $60000\,tr/mn$ avec un pas $5000\,tr/mn$.

2.2 Grandeurs et résultats de référence

Les Résultats de ROTORINSA donnent les fréquences des modes en flexion.

Le calcul des modes en rotation est effectué avec Code_Aster en utilisant la même modélisation que ROTORINSA. Les résultats de Code_Aster donnent à la fois les fréquences des modes de flexion, de torsion et de traction/compression. Le nombre de modes calculés est 20.

2.3 Références bibliographiques

1 M. LALANNE, G. FERRARIS, " Rotordynamics Prediction in Engineering ", Second Edition, Wiley, 2001.

2 ROTORINSA, logiciel éléments finis destiné à prévoir le comportement dynamique de rotors en flexion, LaMCoS UMR5259, INSA-Lyon.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'un système d'arbres tournant selon l'axe Z avec des vitesses de rotation positives.
Les caractéristiques des paliers sont renseignés dans le tableau qui suit.

Palier $P1$

$K_{yy}=8.10^7\ N/m$ $K_{xx}=1.10^8\ N/m$
$K_{yx}=-1.10^7\ N/m$ $K_{xy}=-6.10^7\ N/m$
$C_{yy}=8.10^3\ Ns/m$ $C_{xx}=1.2\,10^4\ Ns/m$
$C_{yx}=-3.10^3\ Ns/m$ $C_{xy}=-3.10^3\ Ns/m$

Palier $P2$

$K_{yy}=5.10^7\ N/m$ $K_{xx}=7.10^7\ N/m$
$K_{yx}=-2.10^6\ N/m$ $K_{xy}=-4.10^7\ N/m$
$C_{yy}=6.10^3\ Ns/m$ $C_{xx}=8.10^3\ Ns/m$
$c_{yx}=-1.5\,10^3\ Ns/m$ $C_{xy}=-1.5\,10^3\ Ns/m$

3.2 Caractéristiques du maillage

Le rotor est maillé en 12 éléments finis d'arbre de type `POU_D_T` et comporte 4 éléments discrets de type `DIS_TR` pour la modélisation des disques et des paliers.
Nombre de nœuds : 13
Nombre et type d'éléments: 12 SEG2
4 POI1

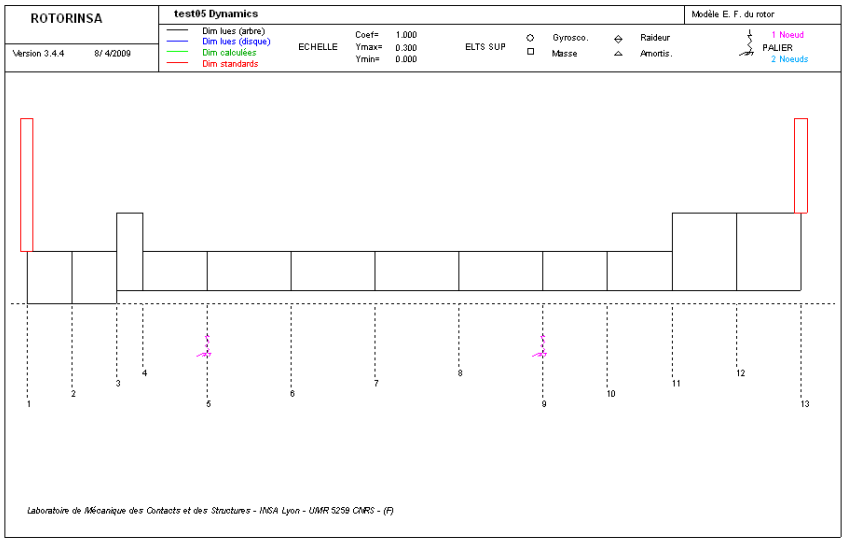


Figure 1-b : Caractéristique du modèle éléments finis sous ROTORINSA

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

3.3 Grandeurs testées et résultats

3.3.1 Fréquences propres en fonction de la vitesse de rotation

Les valeurs des 8 premières fréquences de flexion pour les vitesses $0\,tr/mn$ et $60000\,tr/mn$, pour les deux logiciels, sont présentées dans le tableau ci-dessous

N° Fréq en flexion	Vitesse de rotation (tr/min)	ROTORINSA		Code_Aster	
		$F(Hz)$	Facteur d'amortissement	Tolérances de $F(Hz)$	Tolérances d'amortissement réduit
1	0	2.16212E+02	4.76544E-02	1.E-3	1.E-3
	60000	1.85365E+02	-5.17463E-02	1.E-3	1.1E-3
2	0	2.63539E+02	7.87281E-02	1.E-3	6.E-3
	60000	2.96078E+02	1.55245E-01	1.E-3	5.E-3
3	0	3.83210E+02	5.01438E-02	1.E-3	14.E-3
	60000	3.24718E+02	1.57489 E-03	1.E-3	7.E-3
4	0	4.39642E+02	6.02275E-02	1.E-3	12.E-3
	60000	4.72541E+02	1.59683E-01	1.2E-3	3.E-3

Tableau 2-a : Fréquences propres de type flexion pour Code_Aster et ROTORINSA

Les fréquences obtenues sont en adéquation parfaite avec celles de ROTORINSA.
On constate une instabilité du premier mode, qui apparaît à $16\,760\,tr/mn$.

Dans Code_Aster, on observe aussi des fréquences et des modes de torsion et de modes de traction/compression. Ces modes ne sont pas calculés par ROTORINSA, car il modélise uniquement le comportement en flexion. Les valeurs de ces fréquences sont testées en `NON_REGRESSION` et ce seulement à l'arrêt. En effet, les modes de torsion et de traction sont, par définition, invariants par rapport à la vitesse de rotation.

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'un système d'arbres tournant selon l'axe Z avec des vitesses de rotation négatives. Pour obtenir les mêmes résultats que la modélisation A (au signe moins près), il faut mettre un signe moins sur les termes croisés des matrices de raideur et d'amortissement. Les caractéristiques des paliers sont renseignés dans le tableau qui suit.

Palier $P1$

$K_{yy}=8.10^7\ N/m$ $K_{xx}=1.10^8\ N/m$
$K_{yx}=1.10^7\ N/m$ $K_{xy}=6.10^7\ N/m$
$C_{yy}=8.10^3\ Ns/m$ $C_{xx}=1.2\,10^4\ Ns/m$
$C_{yx}=3.10^3\ Ns/m$ $C_{xy}=3.10^3\ Ns/m$

Palier $P2$

$K_{yy}=5.10^7\ N/m$ $K_{xx}=7.10^7\ N/m$
$K_{yx}=2.10^6\ N/m$ $K_{xy}=4.10^7\ N/m$
$C_{yy}=6.10^3\ Ns/m$ $C_{xx}=8.10^3\ Ns/m$
$C_{yx}=1.5\,10^3\ Ns/m$ $C_{xy}=1.5\,10^3\ Ns/m$

Par conséquent, les précessions des modes sont aussi inversées, c'est à dire que les modes directs deviennent rétrogrades et vice-versa.

4.2 Caractéristiques du maillage

Le rotor est maillé en 12 éléments finis d'arbre de type `POU_D_T` et comporte 4 éléments discrets de type `DIS_TR` pour la modélisation des disques et des paliers.
Nombre de nœuds : 13
Nombre et type d'éléments: 12 SEG2
4 POI1

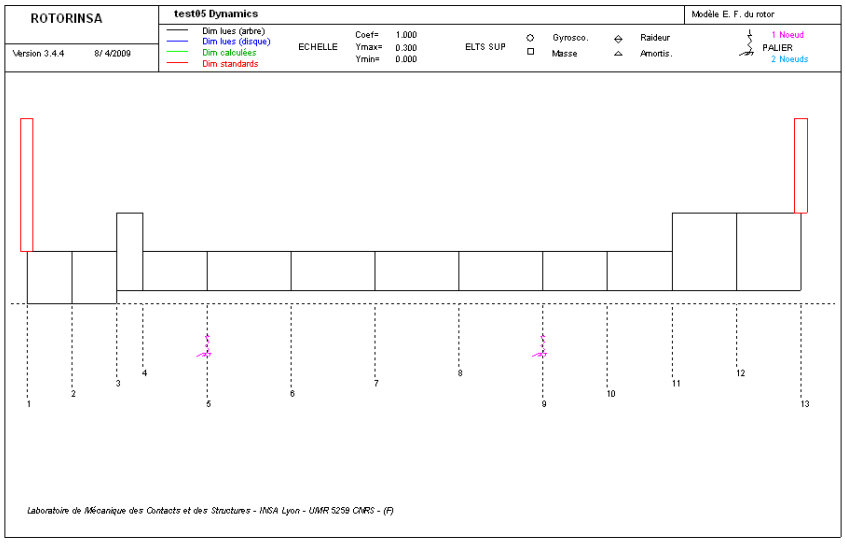


Figure 1-b : Caractéristique du modèle éléments finis sous ROTORINSA

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

4.3 Grandeurs testées et résultats

4.3.1 Fréquences propres en fonction de la vitesse de rotation

Les valeurs des 8 premières fréquences de flexion pour les vitesses $0\,tr/mn$ et $-60000\,tr/mn$, pour les deux logiciels, sont présentées dans le tableau ci-dessous.

N° Fréq en flexion	Vitesse de rotation (tr/min)	ROTORINSA		Code_Aster	
		$\|F\|(Hz)$	Facteur d'amortissement	Tolérances de $\|F\|(Hz)$	Tolérances d'amortissement réduit
a1	0	2.16212E+02	4.76544E-02	1.E-3	1.E-3
	-60000	1.85365E+02	-5.17463E-02	1.E-3	1.1E-3
2	0	2.63539E+02	7.87281E-02	1.E-3	6.E-3
	-60000	2.96078E+02	1.55245E-01	1.E-3	5.E-3
3	0	3.83210E+02	5.01438E-02	1.E-3	14.E-3
	-60000	3.24718E+02	1.57489 E-03	1.E-3	70.E-3
4	0	4.39642E+02	6.02275E-02	1.E-3	12.E-3
	-60000	4.72541E+02	1.59683E-01	1.2E-3	3.E-3

Tableau 2-a : Fréquences propres de type flexion pour Code_Aster et ROTORINSA

Les fréquences obtenues sont en adéquation parfaite avec celles de ROTORINSA.
On constate une instabilité du premier mode, qui apparaît à $-16\,760\,tr/mn$.

Dans Code_Aster, on observe aussi des fréquences et des modes de torsion et de modes de traction/compression. Ces modes ne sont pas calculés par ROTORINSA, car il modélise uniquement le comportement en flexion. Les valeurs de ces fréquences sont testées en NON_REGRESSION et ce seulement à l'arrêt. En effet, les modes de torsion et de traction sont, par définition, invariants par rapport à la vitesse de rotation.

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Il s'agit d'un système d'arbres tournant selon l'axe Y avec des vitesses de rotation positives. Le changement de repère nécessite une nouvelle mise en donnée des caractéristiques des paliers, qui sont renseignés dans le tableau qui suit.

Palier $P1$

$$K_{xx}=8.10^7\,N/m \qquad K_{zz}=1.10^8\,N/m$$
$$K_{xz}=-1.10^7\,N/m \qquad K_{zx}=-6.10^7\,N/m$$
$$C_{xx}=8.10^3\,Ns/m \qquad C_{zz}=1.2\,10^4\,Ns/m$$
$$C_{xz}=-3.10^3\,Ns/m \qquad C_{zx}=-3.10^3\,Ns/m$$

Palier $P2$

$$K_{xx}=5.10^7\,N/m \qquad K_{zz}=7.10^7\,N/m$$
$$K_{xz}=-2.10^6\,N/m \qquad K_{zx}=-4.10^7\,N/m$$
$$C_{xx}=6.10^3\,Ns/m \qquad C_{zz}=8.10^3\,Ns/m$$
$$C_{xz}=-1.5\,10^3\,Ns/m \qquad C_{zx}=-1.5\,10^3\,Ns/m$$

5.2 Caractéristiques du maillage

Le rotor est maillé en 12 éléments finis d'arbre de type `POU_D_T` et comporte 4 éléments discrets de type `DIS_TR` pour la modélisation des disques et des paliers.
Nombre de nœuds : 13
Nombre et type d'éléments: 12 SEG2
4 POI1

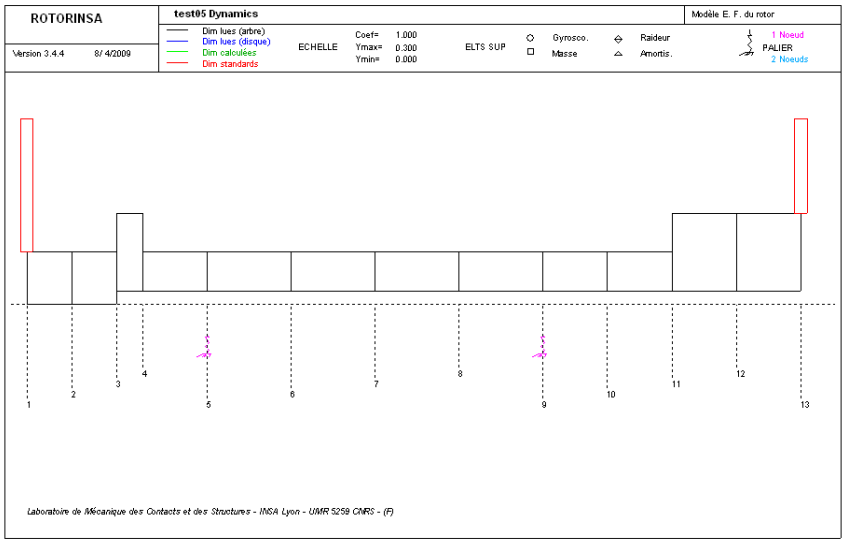


Figure 1-b : Caractéristique du modèle éléments finis sous ROTORINSA

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

5.3 Grandeurs testées et résultats

5.3.1 Fréquences propres en fonction de la vitesse de rotation

Les valeurs des 8 premières fréquences de flexion pour les vitesses $0\,tr/mn$ et $60000\,tr/mn$, pour les deux logiciels, sont présentées dans le tableau ci-dessous.

N° Fréq en flexion	Vitesse de rotation (tr/min)	ROTORINSA		Code_Aster	
		$F(Hz)$	Facteur d'amortissement	Tolérances de $F(Hz)$	Tolérances d'amortissement réduit
1	0	2.16212E+02	4.76544E-02	1.E-3	1.E-3
	60000	1.85365E+02	-5.17463E-02	1.E-3	1.1E-3
2	0	2.63539E+02	7.87281E-02	1.E-3	6.E-3
	60000	2.96078E+02	1.55245E-01	1.E-3	5.E-3
3	0	3.83210E+02	5.01438E-02	1.E-3	14.E-3
	60000	3.24718E+02	1.57489 E-03	1.E-3	70.E-3
4	0	4.39642E+02	6.02275E-02	1.E-3	11.2E-3
	60000	4.72541E+02	1.59683E-01	1.2E-3	3.E-3

Tableau 2-a : Fréquences propres de type flexion pour Code_Aster et ROTORINSA

Les fréquences obtenues sont en adéquation parfaite avec celles de ROTORINSA.
On constate une instabilité du premier mode, qui apparaît à $16\,760\,tr/mn$.

Dans Code_Aster, on observe aussi des fréquences et des modes de torsion et de modes de traction/compression. Ces modes ne sont pas calculés par ROTORINSA, car il modélise uniquement le comportement en flexion. Les valeurs de ces fréquences sont testées en `NON_REGRESSION` et ce seulement à l'arrêt. En effet, les modes de torsion et de traction sont, par définition, invariants par rapport à la vitesse de rotation.

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

6 Synthèse des résultats

Ce cas-test permet de valider le calcul des modes en rotation d'un système d'arbres tournant selon l'axe de rotation Z avec la commande CALC_MODE_ROTATION, à la fois pour des vitesses de rotation négatives et positives puisqu'on retrouve les mêmes résultats par Code_Aster et par ROTORINSA.

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