SDLL129 - Poutre avec 3 disques et 2 des paliers à caractéristiques variables en fonction de la vitesse de rotation

Résumé :

Ce test permet de valider le calcul des modes en rotation d'un système d'arbres tournant avec la commande CALC_MODE_ROTATION dans le cas où les caractéristiques en raideur et amortissement dépendent de la vitesse de rotation.

Dans ce test, on a un modèle de rotor avec trois disques, supporté par deux paliers hydrodynamiques, dont les matrices de raideur et d'amortissement sont non symétriques et dépendent de la vitesse de rotation. 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 4 sections d'arbre.

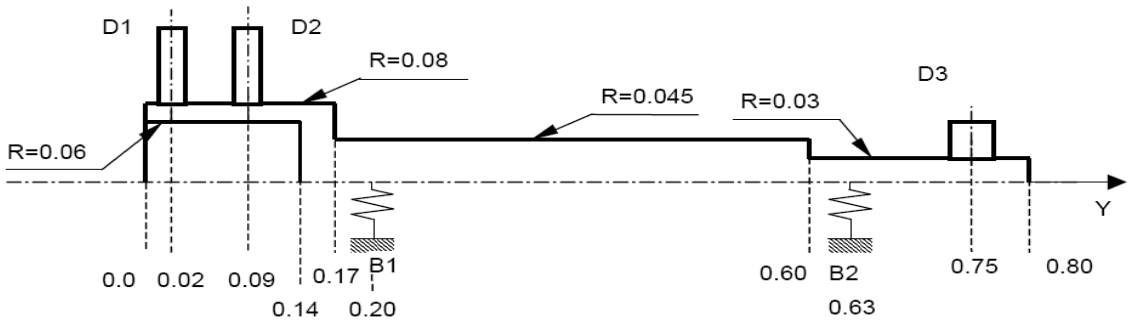


Figure 1.1-a-a : Modèle de rotor avec 3 disques et 2 paliers asymétriques

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	$D1$	$M=20 kg$	$I_D=200.10^{-3} kg\,m^2$	$I_P=400.10^{-3} kg\,m^2$
	$D2$	$M=17 kg$	$I_D=170.10^{-3} kg\,m^2$	$I_P=340.10^{-3} kg\,m^2$
	$D3$	$M=10 kg$	$I_D=15.10^{-3} kg\,m^2$	$I_P=30.10^{-3} kg\,m^2$

Les caractéristiques des paliers sont renseignés dans les tableaux qui suivent.

$\Omega=0 tr/min$

Palier $P1$

$K_{yy}=90.10^6 N/m$ $K_{xx}=50.10^7 N/m$
$K_{yx}=-8.10^4 N/m$ $K_{xy}=9.10^4 N/m$
$c_{yy}=15.10^4 Ns/m$ $c_{xx}=45.10^4 Ns/m$
$c_{yx}=1.10^2 Ns/m$ $c_{xy}=-1.10^2 Ns/m$

Palier $P2$

$K_{yy}=60.10^6 N/m$ $K_{xx}=15.10^7 N/m$
$K_{yx}=-8.10^4 N/m$ $K_{xy}=8.10^4 N/m$
$c_{yy}=12.10^4 Ns/m$ $c_{xx}=19.10^4 Ns/m$
$c_{yx}=1.10^2 Ns/m$ $c_{xy}=-1.10^2 Ns/m$

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

$\Omega = 5000\, tr/min$

Palier $P1$

$K_{yy} = 90.10^6\, N/m$ $K_{xx} = 50.10^7\, N/m$
$K_{yx} = -9.10^4\, N/m$ $K_{xy} = 9.10^4\, N/m$
$c_{yy} = 15.10^4\, Ns/m$ $c_{xx} = 45.10^4\, Ns/m$
$c_{yx} = 1.10^2\, Ns/m$ $c_{xy} = -1.10^2\, Ns/m$

Palier $P2$

$K_{yy} = 60.10^6\, N/m$ $K_{xx} = 15.10^7\, N/m$
$K_{yx} = -8.10^4\, N/m$ $K_{xy} = 8.10^4\, N/m$
$c_{yy} = 12.10^4\, Ns/m$ $c_{xx} = 19.10^4\, Ns/m$
$c_{yx} = 1.10^2\, Ns/m$ $c_{xy} = -1.10^2\, Ns/m$

$\Omega = 6500\, tr/min$

Palier $P1$

$K_{yy} = 100.10^6\, N/m$ $K_{xx} = 40.10^7\, N/m$
$K_{yx} = -15.10^4\, N/m$ $K_{xy} = 15.10^4\, N/m$
$c_{yy} = 13.10^4\, Ns/m$ $c_{xx} = 33.10^4\, Ns/m$
$c_{yx} = 1.10^2\, Ns/m$ $c_{xy} = -1.10^2\, Ns/m$

Palier $P2$

$K_{yy} = 70.10^6\, N/m$ $K_{xx} = 14.10^7\, N/m$
$K_{yx} = -13.10^4\, N/m$ $K_{xy} = 13.10^4\, N/m$
$c_{yy} = 10.10^4\, Ns/m$ $c_{xx} = 15.10^4\, Ns/m$
$c_{yx} = 1.10^2\, Ns/m$ $c_{xy} = -1.10^2\, Ns/m$

$\Omega = 8000\, tr/min$

Palier $P1$

$K_{yy} = 110.10^6\, N/m$ $K_{xx} = 35.10^7\, N/m$
$K_{yx} = -20.10^4\, N/m$ $K_{xy} = 20.10^4\, N/m$
$c_{yy} = 11.10^4\, Ns/m$ $c_{xx} = 26.10^4\, Ns/m$
$c_{yx} = 2.10^2\, Ns/m$ $c_{xy} = -2.10^2\, Ns/m$

Palier $P2$

$K_{yy} = 80.10^6\, N/m$ $K_{xx} = 14.10^7\, N/m$
$K_{yx} = -20.10^4\, N/m$ $K_{xy} = 20.10^4\, N/m$
$c_{yy} = 9.10^4\, Ns/m$ $c_{xx} = 13.10^4\, Ns/m$
$c_{yx} = 2.10^2\, Ns/m$ $c_{xy} = -2.10^2\, Ns/m$

$\Omega = 10000\, tr/min$

Palier $P1$

$K_{yy} = 115.10^6\, N/m$ $K_{xx} = 33.10^7\, N/m$
$K_{yx} = -35.10^4\, N/m$ $K_{xy} = 35.10^4\, N/m$
$c_{yy} = 10.10^4\, Ns/m$ $c_{xx} = 20.10^4\, Ns/m$
$c_{yx} = 2.10^2\, Ns/m$ $c_{xy} = -3.10^2\, Ns/m$

Palier $P2$

$K_{yy} = 90.10^6\, N/m$ $K_{xx} = 14.10^7\, N/m$
$K_{yx} = -30.10^4\, N/m$ $K_{xy} = 30.10^4\, N/m$
$c_{yy} = 8.10^4\, Ns/m$ $c_{xx} = 10.10^4\, Ns/m$
$c_{yx} = 2.10^2\, Ns/m$ $c_{xy} = -2.10^2\, Ns/m$

$\Omega = 14000\, tr/min$

Palier $P1$

$K_{yy} = 120.10^6\, N/m$ $K_{xx} = 30.10^7\, N/m$
$K_{yx} = -70.10^4\, N/m$ $K_{xy} = 70.10^4\, N/m$

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

$c_{yy}=7.10^4\,Ns/m$ $c_{xx}=15.10^4\,Ns/m$
$c_{yx}=3.10^2\,Ns/m$ $c_{xy}=-4.10^2\,Ns/m$

Palier $P2$ $K_{yy}=100.10^6\,N/m$ $K_{xx}=14.10^7\,N/m$
$K_{yx}=-60.10^4\,N/m$ $K_{xy}=60.10^4\,N/m$
$c_{yy}=6.10^4\,Ns/m$ $c_{xx}=8.10^4\,Ns/m$
$c_{yx}=3.10^2\,Ns/m$ $c_{xy}=-3.10^2\,Ns/m$

1.3 Conditions aux limites

Pour bloquer les mouvements de type corps rigide dans la direction z, on bloque les degrés de liberté DZ et DRZ 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 $20000\,tr/mn$ avec un pas $500\,tr/mn$.

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 12.

2.3 Références

[1] 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 avec des vitesses de rotation positives.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le rotor est maillé en 21 éléments finis d'arbre de type POU_D_T et comporte 5 éléments discrets de type DIS_TR pour la modélisation des disques et des paliers.

Nombre de nœuds : 22
Nombre et type d'éléments: 21 SEG2
5 POI1

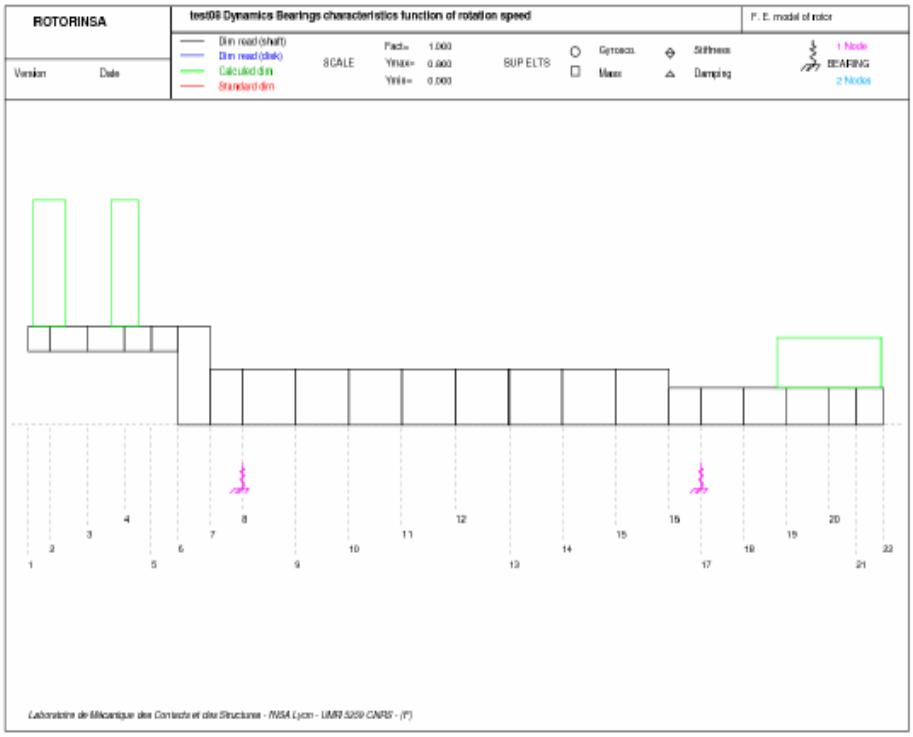


Figure 1-b : Caractéristique du modèle éléments finis sous ROTORINSA

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

3.3 Grandeurs testées et résultats

Fréquences propres en fonction de la vitesse de rotation (calcul direct) :

Les valeurs des 8 premières fréquences de flexion pour les vitesses $0\,tr/mn$ et $20000\,tr/mn$, 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	$F(Hz)$	Amortissement réduit
1	0	130.695	6.37866E-01	131.547	6.37613E-01
	20000	123.683	1.24817E-01	123.706	1.24678E-01
2	0	227.925	9.58757E-02	227.716	9.49991E-02
	20000	200.581	2.17961E-01	200.728	2.17632E-01
3	0	313.311	2.27364E-01	313.935	2.27701E-01
	20000	286.743	1.81652E-01	286.912	1.81388E-01
4	0	381.529	6.52812E-01	375.305	6.61825E-01
	20000	308.624	4.32727E-01	309.825	4.31714E-01
5	0	390.802	1.77361E-01	390.241	1.74485E-01
	20000	370.338	2.54912E-01	369.917	2.54178E-01
6	0	1448.01	1.42312E-01	1439.66	1.54371E-01
	20000	409.861	5.58764E-01	412.422	5.63110E-01
7	0	1554.84	1.07354E-01	1554.35	1.11688E-01
	20000	813.124	4.73230E-01	824.952	4.70031E-01
8	0	2050.12	3.08294E-01	1928.78	3.04586E-01
	20000	997.312	4.93828E-01	1006.17	5.08301E-01

Tableau 2-a : Fréquences propres de type flexion pour ROTORINSA et Code_Aster (calcul direct)

Le critères de tolérance en relatif sont de 10% sur les résultats à l'arrêt et de 5% sur les résultats à 20000 tr/min. A la tolérance près, les fréquences obtenues sont en adéquation avec celles de ROTORINSA.

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

Fréquences propres en fonction de la vitesse de rotation (calcul en 2 étages) :

Les valeurs des 8 premières fréquences de flexion pour les vitesses $0\,tr/mn$ et $20000\,tr/mn$, 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	$F(Hz)$	Amortissement réduit
1	0	130.695	6.37866E-01	130.909	6.37982E-01
	20000	123.683	1.24817E-01	123.701	1.24816E-01
2	0	227.925	9.58757E-02	227.890	9.56146E-02
	20000	200.581	2.17961E-01	200.634	2.17876E-01
3	0	313.311	2.27364E-01	313.433	2.27817E-01
	20000	286.743	1.81652E-01	286.805	1.81739E-01
4	0	381.529	6.52812E-01	380.699	6.55069E-01
	20000	308.624	4.32727E-01	308.825	4.32616E-01
5	0	390.802	1.77361E-01	390.883	1.76940E-01
	20000	370.338	2.54912E-01	370.399	2.54825E-01
6	0	1448.01	1.42312E-01	1448.54	1.45247E-01
	20000	409.861	5.58764E-01	410.199	5.60285E-01
7	0	1554.84	1.07354E-01	1556.64	1.07779E-01
	20000	813.124	4.73230E-01	814.475	4.72976E-01
8	0	2050.12	3.08294E-01	2009.06	3.09277E-01
	20000	997.312	4.93828E-01	998.343	4.95564E-01

Tableau 2-b : Fréquences propres de type flexion pour ROTORINSA et Code_Aster (calcul en 2 étages)

Le critères de tolérance en relatif sont de 5% sur les résultats à l'arrêt et de 1% sur les résultats à 20000 tr/min. A la tolérance près, les fréquences obtenues sont en meilleure adéquation avec celles de ROTORINSA (par comparaison à la méthode de cacul modal direct). En effet, c'est cette méthode de calcul modal en 2 étages qui est utilisé dans ROTORINSA.

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 la première fréquence en torsion pour les vitesses $0\,tr/mn$ et $20000\,tr/mn$, pour Code_Aster, sont présentées dans le tableau ci-dessous

N° Fréq en Torsion	Vitesse de rotation (tr/min)	$F(Hz)$
1	0	5.81803E+02
	20000	5.81803E+02

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

Tableau 2-c : Fréquences de torsion données par Code_Aster

La valeur de la première fréquence en traction pour les vitesses $0\,tr/mn$ et $20000\,tr/mn$, pour Code_Aster, sont présentées dans le tableau ci-dessous

N° Fréq en Torsion	Vitesse de rotation (tr/min)	$F(Hz)$
1	0	1.67224E+03
	20000	1.67224E+03

Tableau 2-c : Fréquences de traction données par Code_Aster

En résumé dans le tableau ci-dessous, sont présentés, les nombres les fréquences calculées et utilisées dans le tracé du diagramme de Campbell dans Code_Aster.

Nombre de valeurs propres détectées : 12
Nombre de fréquences demandées pour le tracé : 8

	calculés	tracés
Nombre de fréquences totales	12	8
Nombre de fréquences en flexion	8	7
Nombre de fréquences torsion	1	1
Nombre de fréquences traction/compression	1	0

Tableau 2-d : Fréquences calculées et tracées (Code_Aster)

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

4 Synthèse des résultats

Ce cas-test permet de valider la fonctionnalité Digramme de Campbell pour des lignes d'arbres dont les caractéristiques en raideur et amortissement dépendent de la vitesse de rotation 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)