SHLL103 – Réponse harmonique d'un rotor avec deux disques et deux paliers non symétriques, soumis à l'effet gyroscopique

Résumé :

Ce test permet de valider le calcul de la réponse harmonique d'un système d'arbres tournant avec prise en compte de l'effet gyroscopique et des paliers à caractéristiques non symétriques.

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 linéarisés sont non symétriques. Cet exemple ainsi que les résultats de référence correspondants sont tirés du manuel de qualification de ROTORINSA, [bib2], logiciel de calcul aux 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)

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....5
2.1 Méthode de calcul....5
2.2 Grandeurs et résultats de référence....5
2.3 Références bibliographiques....5
3 Modélisation A....6
3.1 Caractéristiques de la modélisation....6
3.2 Caractéristiques du maillage....6
3.3 Chargement....6
4 Résultats....7
4.1Rotor à l'arrêt (OMEGA = 0 tr/min)....7
4.1.1 Effort harmonique unitaire suivant X....7
4.1.2 Effort harmonique unitaire suivant Z....7
4.2 Rotor tournant à OMEGA = 40000 tr/min....7
4.2.1 Effort harmonique unitaire suivant X....7
4.2.2 Effort harmonique unitaire suivant Z....8
4.3 Rotor tournant à OMEGA = 50000 tr/min....8
4.3.1 Effort harmonique unitaire suivant X....8
4.3.2 Effort harmonique unitaire suivant Z....9
4.4 Rotor tournant à OMEGA = 60000 tr/min....9
4.4.1 Effort harmonique unitaire suivant X....9
4.4.2 Effort harmonique unitaire suivant Z....10
5 Synthèse des résultats....11

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 2 disques et 3 sections d'arbre.

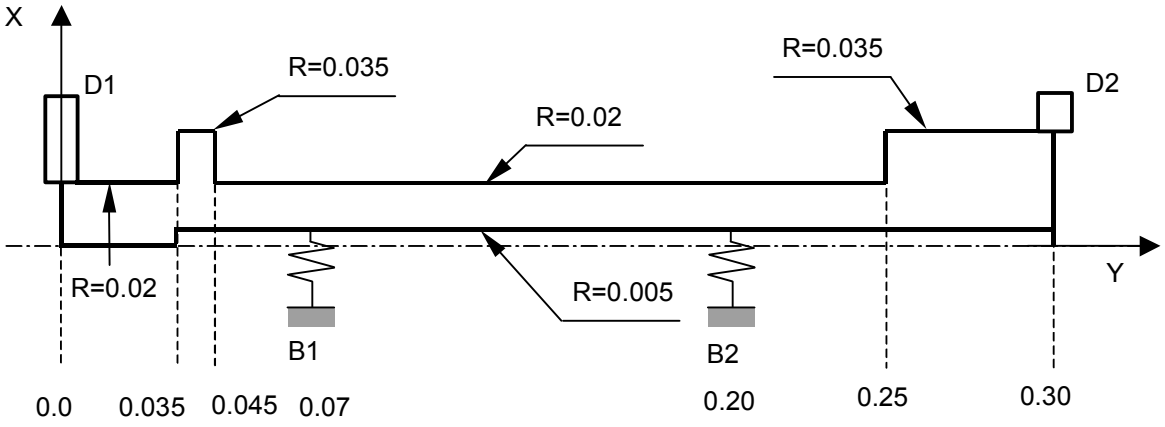


Image 1.1-1 : Modèle de rotor avec 2 disques et 2 paliers asymétriques

1.2 Propriétés de matériaux

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	$D1$	$M=3.5\,kg$	$I_D=3.5\,10^{-3}\,kg\,m^2$	$I_P=7.10^{-3}\,kg\,m^2$
	$D2$	$M=3.0\,kg$	$I_D=3.0\,10^{-3}\,kg\,m^2$	$I_P=6.10^{-3}\,kg\,m^2$

Tableau 1.2-1 : Caractéristiques géométriques et matériau

Les caractéristiques des paliers sont renseignés dans le tableau qui suit.

Palier	$P1$	$K_{xx}=8.10^7\,N/m$	$K_{zz}=1.10^8\,N/m$
		$K_{xz}=-1.10^7\,N/m$	$K_{zx}=-6.10^7\,N/m$
		$C_{xx}=8.10^3\,Ns/m$	$C_{zz}=1.2\,10^4\,Ns/m$
		$C_{xz}=-3.10^3\,Ns/m$	$C_{zx}=-3.10^3\,Ns/m$
Palier	$P2$	$K_{xx}=5.10^7\,N/m$	$K_{zz}=7.10^7\,N/m$
		$K_{xz}=-2.10^6\,N/m$	$K_{zx}=-4.10^7\,N/m$
		$C_{xx}=6.10^3\,Ns/m$	$C_{zz}=8.10^3\,Ns/m$
		$C_{xz}=-1.5\,10^3\,Ns/m$	$C_{zx}=-1.5\,10^3\,Ns/m$

Tableau 1.2-2 : Caractéristiques des paliers

1.3 Conditions aux limites et chargements

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

Pour bloquer les mouvements de type corps rigide dans la direction y, on bloque les degrés de liberté DY et DRY au nœud palier $B1$.
Le chargement est une force harmonique à une vitesse de rotation constante.

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

La solution de référence est celle fournie par le code ROTORINSA, code éléments finis (de type poutre de Timoshenko) destiné à prévoir le comportement dynamique de rotors en flexion.

2.2 Grandeurs et résultats de référence

Ce sont des calculs de réponse à une force harmonique avec quatre vitesses de rotation du rotor différentes : 0, 40000, 50000 et 60000 tr/min .
La fréquence d'excitation de la force harmonique est $1\,Hz$, $25\,Hz$ et $250\,Hz$ successivement.

A chaque vitesse de rotation du rotor, deux calculs sont effectués :
- effort harmonique unitaire suivant X appliqué au nœud du disque $D2$
- effort harmonique unitaire suivant Z appliqué au nœud du disque $D2$

A chaque fois, on relève les valeurs des maximas d'amplitude et de phase au nœud du disque $D2$.

2.3 Références bibliographiques

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)

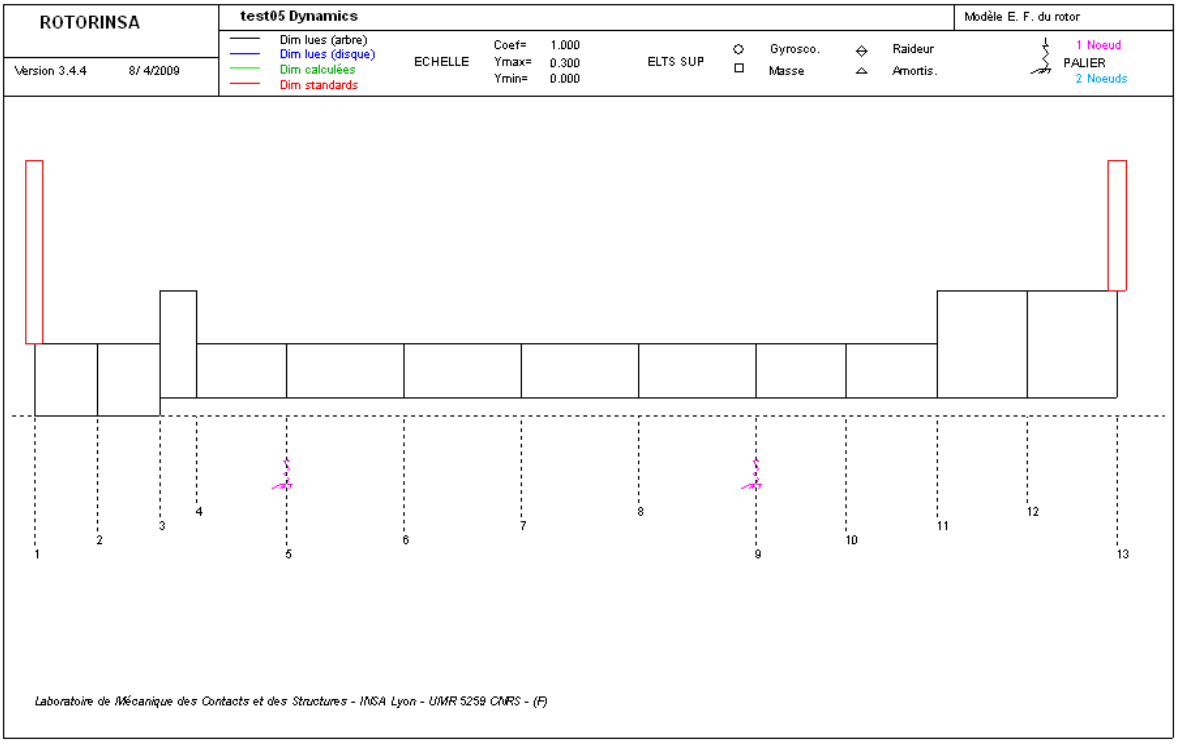
3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation : 12 Éléments équi-répartis de poutre POU_D_T dans la direction y

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



Images 3.2-1 : Caractéristiques du modèle éléments finis sous ROTORINSA

3.3 Chargement

Effort harmonique unitaire, appliqué sur le nœud correspondant au disque $D2$.

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

4 Résultats

4.1 Rotor à l'arrêt (OMEGA = 0 tr/min)

4.1.1 Effort harmonique unitaire suivant X

Fréquence en Hz	Déplacement X de référence (m)	Déplacement X Code_Aster (m)	Déplacement Z de référence (m)	Déplacement Z Code_Aster (m)
1	0.10319E-06	0.10331E-06	0.41444E-07	0.41409E-07
25	0.10445E-06	0.10457E-06	0.42396E-07	0.42362E-07
250	0.19043E-06	0.19380E-06	0.70701E-06	0.71396E-06

Tableau 4.1.1-1 : Déplacements X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

Fréquence en Hz	Phase X de référence (degrés)	Phase X Code_Aster (degrés)	Phase Z de référence (degrés)	Phase Z Code_Aster (degrés)
1	-0.0265	-0.0264	-0.0644	-0.0652
25	-0.6705	-0.6684	-1.6253	-1.6449
250	-137.1030	-137.7761	139.5277	141.6458

Tableau 4.1.1-2 : Phases X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

4.1.2 Effort harmonique unitaire suivant Z

Fréquence en Hz	Déplacement X de référence (m)	Déplacement X Code_Aster (m)	Déplacement Z de référence (m)	Déplacement Z Code_Aster (m)
1	0.26277E-08	0.26302E-08	0.83297E-07	0.8341E-07
25	0.27046E-08	0.27073E-08	0.84098E-07	0.84211E-07
250	0.72302E-07	0.72635E-07	0.32801E-06	0.33019E-06

Tableau 4.1.2-1 : Déplacements X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

Fréquence en Hz	Phase X de référence (degrés)	Phase X Code_Aster (degrés)	Phase Z de référence (degrés)	Phase Z Code_Aster (degrés)
1	-179.8568	-179.8576	179.9769	179.9770
25	-176.4619	-176.4823	179.4165	179.4181
250	-5.8731	-6.2622	115.2685	115.3362

Tableau 4.1.2-2 : Phases X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

4.2 Rotor tournant à OMEGA = 40000 tr/min

4.2.1 Effort harmonique unitaire suivant X

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

Fréquence en Hz	Déplacement X de référence (m)	Déplacement X Code_Aster (m)	Déplacement Z de référence (m)	Déplacement Z Code_Aster (m)
1	0.10319E-06	0.10331E-06	0.41444E-07	0.41410E-07
25	0.10455E-06	0.10467E-06	0.42518E-07	0.42486E-07
250	0.48971E-07	0.48728E-07	0.23315E-06	0.23324E-06

Tableau 4.2.1-1 : Déplacements X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

Fréquence en Hz	Phase X de référence (degrés)	Phase X Code_Aster (degrés)	Phase Z de référence (degrés)	Phase Z Code_Aster (degrés)
1	-0.0068	-0.0067	-0.1637	-0.1647
25	-0.1664	-0.1632	-4.0901	-4.1134
250	-141.0235	-140.1804	98.1335	98.0294

Tableau 4.2.1-2 : Phases X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

4.2.2 Effort harmonique unitaire suivant Z

Fréquence en Hz	Déplacement X de référence (m)	Déplacement X Code_Aster (m)	Déplacement Z de référence (m)	Déplacement Z Code_Aster (m)
1	0.26295E-08	0.26320E-08	0.83297E-07	0.83408E-07
25	0.36470E-08	0.36511E-08	0.84180E-07	0.84293E-07
250	0.11311E-06	0.11328E-06	0.10572E-06	0.10612E-06

Tableau 4.2.2-1 : Déplacements X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

Fréquence en Hz	Phase X de référence (degrés)	Phase X Code_Aster (degrés)	Phase Z de référence (degrés)	Phase Z Code_Aster (degrés)
1	-177.9360	-177.9355	179.9964	179.9965
25	-138.3688	-138.3625	179.9183	179.9203
250	25.4329	25.4724	103.2116	103.5733

Tableau 4.2.2-2 : Phases X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

4.3 Rotor tournant à OMEGA = 50000 tr/min

4.3.1 Effort harmonique unitaire suivant X

Fréquence en Hz	Déplacement X de référence (m)	Déplacement X Code_Aster (m)	Déplacement Z de référence (m)	Déplacement Z Code_Aster (m)
1	0.10319E-06	0.10331E-06	0.41444E-07	0.41410E-07
25	0.10460E-06	0.10472E-06	0.42577E-07	0.42545E-07
250	0.37618E-07	0.37498E-07	0.19422E-06	0.19431E-06

Tableau 4.3.1-1 : Déplacements X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

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

Fréquence en Hz	Phase X de référence (degrés)	Phase X Code_Aster (degrés)	Phase Z de référence (degrés)	Phase Z Code_Aster (degrés)
1	-0.0019	-0.0018	-0.1886	-0.1895
25	-0.0402	-0.0367	-4.7040	-4.7283
250	-128.6350	-127.5965	94.7082	94.6331

Tableau 4.3.1-2 : Phases X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

4.3.2 Effort harmonique unitaire suivant Z

Fréquence en Hz	Déplacement X de référence (m)	Déplacement X Code_Aster (m)	Déplacement Z de référence (m)	Déplacement Z Code_Aster (m)
1	0.26304E-08	0.26329E-08	0.83297E-07	0.83408E-07
25	0.40459E-08	0.40507E-08	0.84217E-07	0.84331E-07
250	0.10980E-06	0.10994E-06	0.89435E-07	0.89793E-07

Tableau 4.3.2-1 : Déplacements X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

Fréquence en Hz	Phase X de référence (degrés)	Phase X Code_Aster (degrés)	Phase Z de référence (degrés)	Phase Z Code_Aster (degrés)
1	-177.4564	-177.4555	-179.9987	-179.9986
25	-132.3829	-132.3742	-179.9561	-179.9539
250	28.1427	28.2043	108.0535	108.4359

Tableau 4.3.2-2 : Phases X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

4.4 Rotor tournant à OMEGA = 60000 tr/min

4.4.1 Effort harmonique unitaire suivant X

Fréquence en Hz	Déplacement X de référence (m)	Déplacement X Code_Aster (m)	Déplacement Z de référence (m)	Déplacement Z Code_Aster (m)
1	0.10319E-06	0.10331E-06	0.41444E-07	0.41410E-07
25	0.10466E-06	0.10478E-06	0.42647E-07	0.42616E-07
250	0.30475E-07	0.30507E-07	0.16473E-06	0.16479E-06

Tableau 4.4.1-1 : Déplacements X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

Fréquence en Hz	Phase X de référence (degrés)	Phase X Code_Aster (degrés)	Phase Z de référence (degrés)	Phase Z Code_Aster (degrés)
1	0.0030	0.0313	-0.2134	-0.2144
25	0.0862	0.0899	-5.3164	-5.3416
250	-111.7419	-110.5334	92.0178	91.9669

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

Tableau 4.4.1-2 : Phases X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

4.4.2 Effort harmonique unitaire suivant Z

Fréquence en Hz	Déplacement X de référence (m)	Déplacement X Code_Aster (m)	Déplacement Z de référence (m)	Déplacement Z Code_Aster (m)
1	0.26314E-08	0.26339E-08	0.83297E-07	0.83408E-07
25	0.44804E-08	0.44860E-08	0.84262E-07	0.84375E-07
250	0.10475E-06	0.10486E-06	0.78438E-07	0.78777E-07

Tableau 4.4.2-1 : Déplacements X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

Fréquence en Hz	Phase X de référence (degrés)	Phase X Code_Aster (degrés)	Phase Z de référence (degrés)	Phase Z Code_Aster (degrés)
1	-176.9771	-176.9759	-179.9938	-179.9937
25	-127.4844	-127.4742	-179.8303	-179.8279
250	30.2686	30.3438	113.8704	114.2592

Tableau 4.4.2-2 : Phases X et Z en fonction de la fréquence d'excitation

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

5 Synthèse des résultats

On constate que les calculs de *Code_Aster* reproduisent fidèlement ceux de la référence. On constate une bonne implantation de l'effet gyroscopique pour l'élément de poutre et l'élément discret, dans le cas de calcul harmonique.

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