

SDLL124 – Diagramme de Campbell d'une poutre en rotation avec 3 disques soumise à la gyroscopie

Résumé :

Ce test permet de valider le calcul des modes en rotation d'un système d'arbres tournant avec la macro `CALC_MODE_ROTATION` et du diagramme de Campbell avec la macro `IMPR_DIAG_CAMPBELL`.

Dans ce test, il s'agit d'un modèle simple de rotor avec 3 disques, supporté par des paliers hydrodynamiques. Cet exemple est tiré de la référence [bib1].

Les résultats de référence sont issus d'un calcul avec 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.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Un modèle simple de rotor supporté par 2 paliers (respectivement premier et dernier nœud du rotor), est composé de 3 disques, la section de l'arbre est de 0.05 m de rayon. Il mesure 1.3 m (cf. figure ci-dessous).

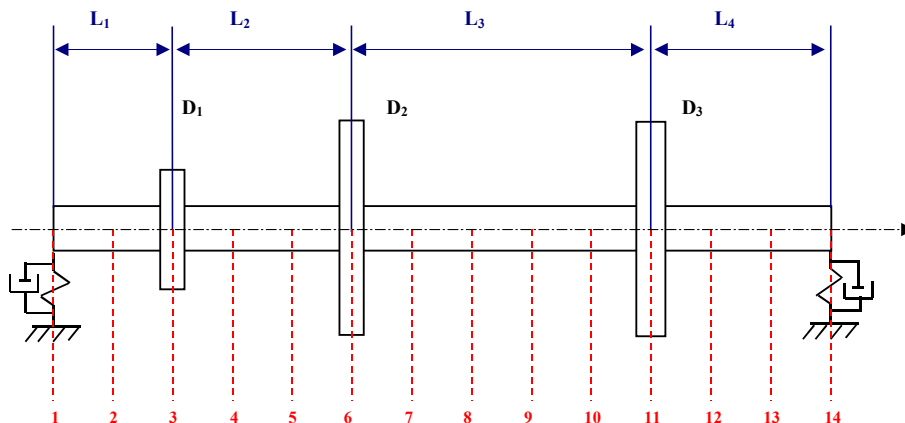


Figure 1.1-a-a : Modèle de rotor avec 3 disques issu de [bib1]

Les longueurs respectives sont :

$$L_1=0.2\text{ m} \quad L_2=0.3\text{ m} \quad L_3=0.5\text{ m} \quad L_4=0.3\text{ m}$$

1.2 Propriétés du matériau

Les caractéristiques du matériau de l'arbre et des disques sont :

- Module de Young $E=2.10^{11}$
- Masse volumique $\rho=7800\text{ kg/m}^3$
- Coefficient de poisson $\nu=0.3$

Les caractéristiques des disques sont :

Disque	D_1	D_2	D_3
Epaisseur (m)	0.05	0.05	0.06
Rayon intérieur (m)	0.05	0.05	0.05
Rayon extérieur (m)	0.12	0.20	0.20

Les caractéristiques des paliers sont :

$K_{yy}=5.10^7\text{ N/m}$	$K_{zz}=7.10^7\text{ N/m}$	$K_{yz}=K_{zy}=0$
$C_{yy}=5.10^2\text{ Ns/m}$	$C_{zz}=7.10^2\text{ Ns/m}$	$C_{yz}=C_{zy}=0$

1.3 Conditions aux limites

Pour bloquer les mouvements de type corps rigide dans la direction x , on bloque le degré de liberté DX au nœud du premier palier (premier nœud de l'arbre).

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 30000 tr/mn avec un pas 10000 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

- M. LALANNE, G. FERRARIS, " Rotordynamics Prediction in Engineering ", Second Edition, Wiley, 2001.
- ROTORINSA, logiciel éléments finis destiné à prévoir le comportement dynamique de rotors en flexion, LaMCoS UMR5259, INSA-Lyon.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques du maillage

Le rotor est maillé en 13 éléments finis d'arbre de type `POU_D_T` et de même longueur et comporte 4 éléments discrets de type `DIS_TR` pour la modélisation des disques et des paliers. C'est le même modèle aux éléments finis qui a été choisi pour des calculs par ROTORINSA.

Nombre de nœuds : 14
Nombre et type d'éléments: 13 SEG2
5 POI1

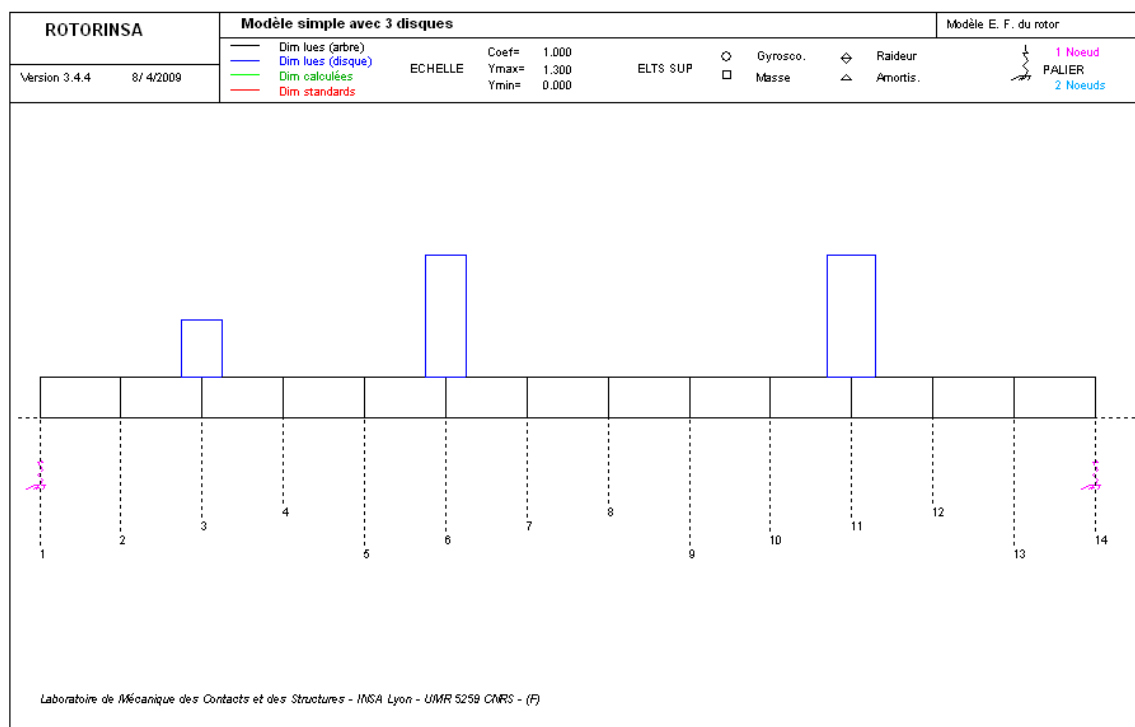


Figure 1-b : Caractéristique du modèle éléments finis sous ROTORINSA.

3.2 Grandeurs testées et résultats

3.2.1 Fréquences propres en fonction de la vitesse de rotation

Les valeurs des 8 premières fréquences de flexion pour les vitesses 0 tr/mn et 30000 tr/mn , pour les deux logiciels, sont présentées dans le tableau ci-dessous.

N° Fréq en flexion	Vitesse de rotation (tr/mn)	ROTORINSA		Code_Aster	
		$F \text{ (Hz)}$	Facteur d'amortissement	Tolérance de $F \text{ (Hz)}$	Tolérance de l'amortissement réduit
1	0	6.06148E+01	5.03277E-04	1E-03	1.E-03
	30000	5.41119E+01	2.66235E-04	1.E-03	1.4E-03
2	0	6.30255E+01	3.98814E-04	1.E-03	1.E-03
	30000	6.81221E+01	6.52538E-04	1.E-03	6.E-03
3	0	1.69496E+02	3.12313E-03	1.E-03	2.E-03
	30000	1.54652E+02	3.04410E-03	3.E-03	17.E-03
4	0	1.85563E+02	2.85327E-03	1.E-03	2.E-03
	30000	1.96002E+02	2.76113E-03	2.E-03	20.E-03

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

Les fréquences obtenues sont en adéquation parfaite avec celles de 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 ces fréquences sont testées en `NON_REGRESSION`.

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 : 20

Nombre de fréquences demandées pour le tracé : 11

	calculés	tracés
Nombre de fréquences totales	20	11
Nombre de fréquences en flexion	16	8
Nombre de fréquences torsion	2	2
Nombre de fréquences traction/compression	2	1

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

3.2.2 Diagramme de Campbell

Le diagramme de Campbell obtenu dans Code_Aster en suivant les modes de flexion par tri des fréquences de proche en proche en fonction du sens de la précession correspond parfaitement à celui obtenu par ROTORINSA.

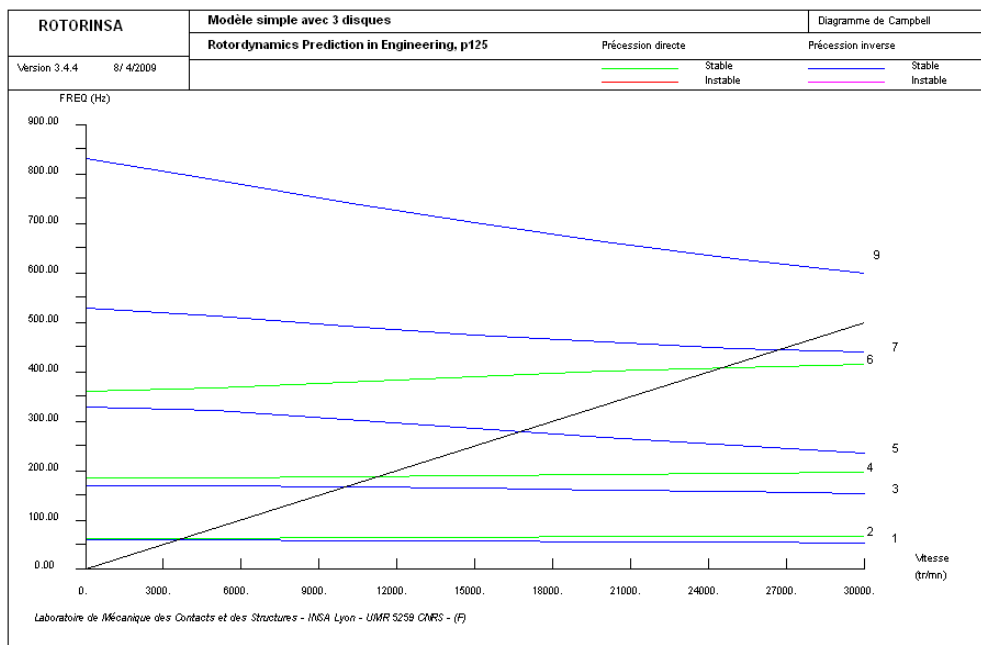


Figure 3.2.2-a-a : Diagramme de Campbell en flexion donné par ROTORINSA

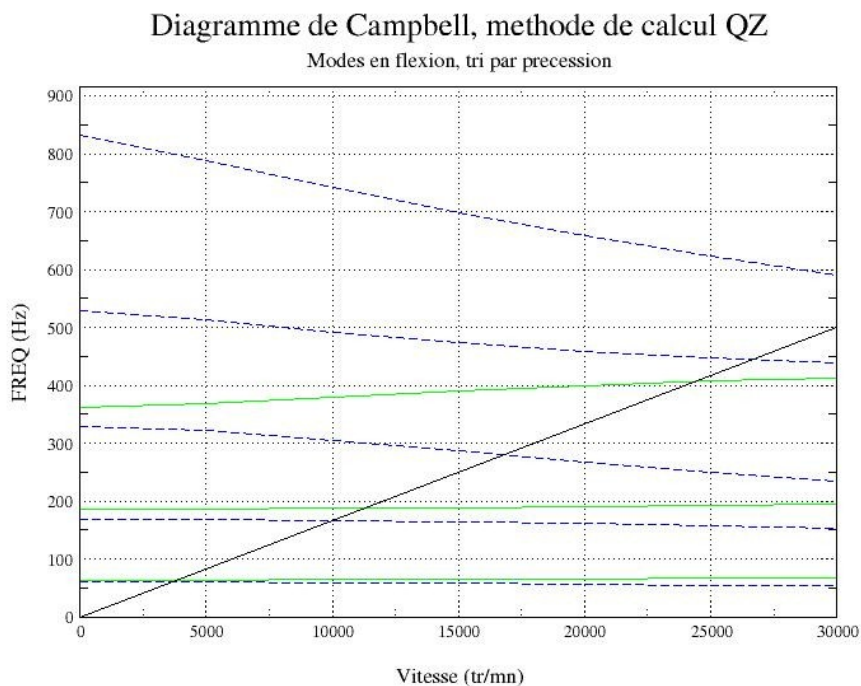


Figure 3-b : Diagramme de Campbell en flexion donnée par Code_Aster

On peut aussi tracer le suivi des modes de torsion et de traction/compression. Pour cette application, ces modes sont invariants par rapport à la vitesse de rotation et donc les courbes d'évolution sont des lignes horizontales.

Diagramme de Campbell

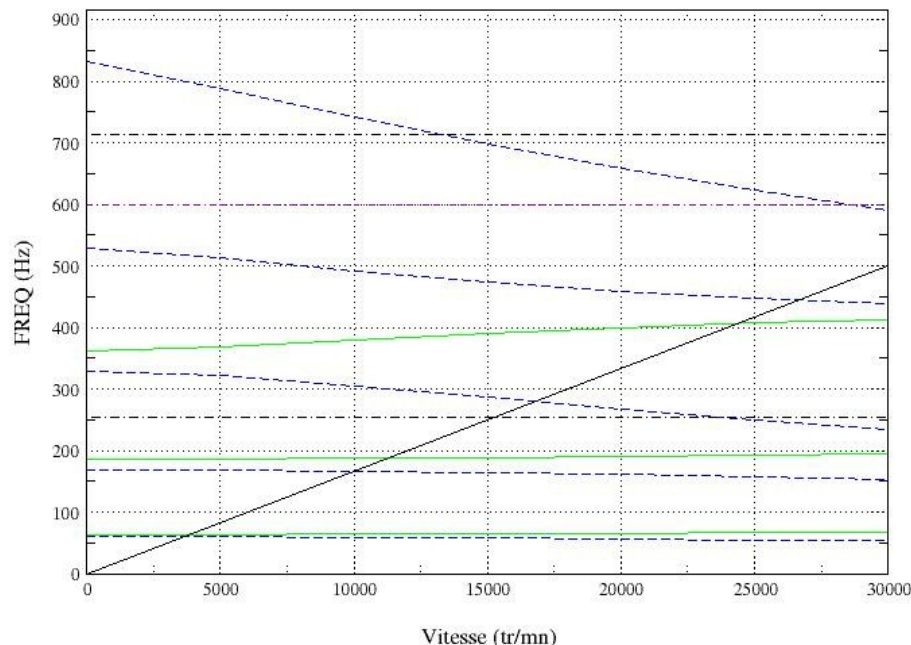


Figure 3-c : Diagramme de Campbell en flexion, torsion et traction-compression

Pour les modes de torsion : couleur de trait noir, style un tiret, un pointillé.

Pour les modes de traction/compression : couleur de trait violet, style deux tirets, un pointillé.

3.2.3 Vitesses critiques (Points d'intersection avec les droites $Y=SX$)

Les vitesses critiques éventuelles dues aux balourds ou à des forces tournantes synchrones à la vitesse du rotor, sont obtenues par les intersections de la droite de pente $S=1$ avec les courbes d'évolution des fréquences. Elles sont renseignées dans le fichier de sortie d'unité 25 de la commande IMPR_DIAG_CAMPBELL.

Le tableau ci-dessous montre que Les points d'intersection pour les modes en flexion obtenus sont en adéquation parfaite avec ceux de ROTORINSA.

ROTORINSA $S=1$		Code-Aster $S=1$	
Vitesse (tr / mn)	Fréquence (Hz)	Vitesse (tr / mn)	Fréquence (Hz)
3615.68	60.26	3604.77	60.08
3801.95	63.37	3812.06	63.53
10019.11	166.99	10018.12	166.97
11282.96	188.05	11283.99	188.07
16809.10	280.15	16772.75	279.55
24520.53	408.68	24324.80	405.41

26743.11	445.72	26692.68	444.88
----------	--------	----------	--------

Tableau 4-a : Vitesses critiques par Code_Aster et ROTORINSA

Mode en Torsion

Points d intersection avec la droite $Y = SX$, avec $S=1.00$

Vitesse = 15240.61 *tr / mn*, Fréquence = 254.01 *Hz*

4 Synthèse des résultats

Ce cas-test permet de valider la fonctionnalité Diagramme de Campbell puisqu'on retrouve les mêmes résultats par Code_Aster et par ROTORINSA. Il permet aussi de valider la fonctionnalité permettant d'utiliser les éléments discrets non symétriques.