

## 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  $0.05\text{ m}$  de rayon. Il mesure  $1.3\text{ m}$  (cf. figure ci-dessous). Le rotor est en rotation selon l'axe Z.

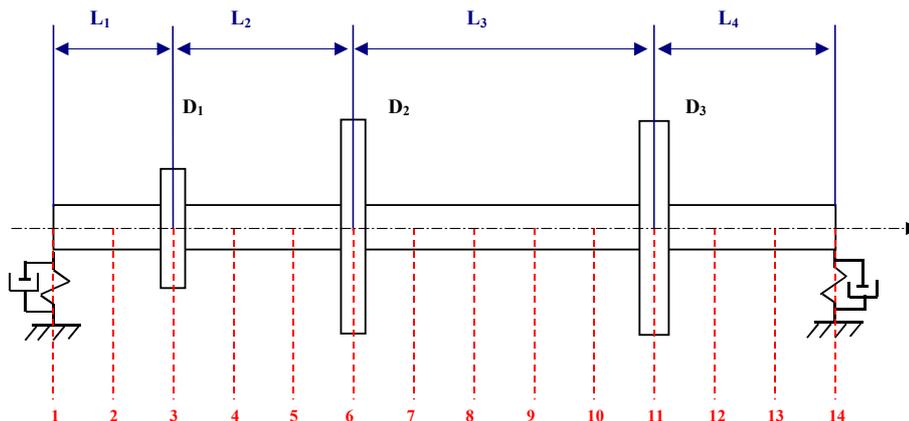


Figure 1.1-a-a : Modèle de rotor avec 3 disques issu de [bib1]

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 :

|                             |                             |                   |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|
| $K_{xx}=7.10^7\text{ N/m}$  | $K_y=5.10^7\text{ N/m}$     | $K_{yx}=K_{xy}=0$ |
| $C_{xx}=7.10^2\text{ Ns/m}$ | $C_{yy}=5.10^2\text{ Ns/m}$ | $C_{yx}=C_{xy}=0$ |

## 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 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

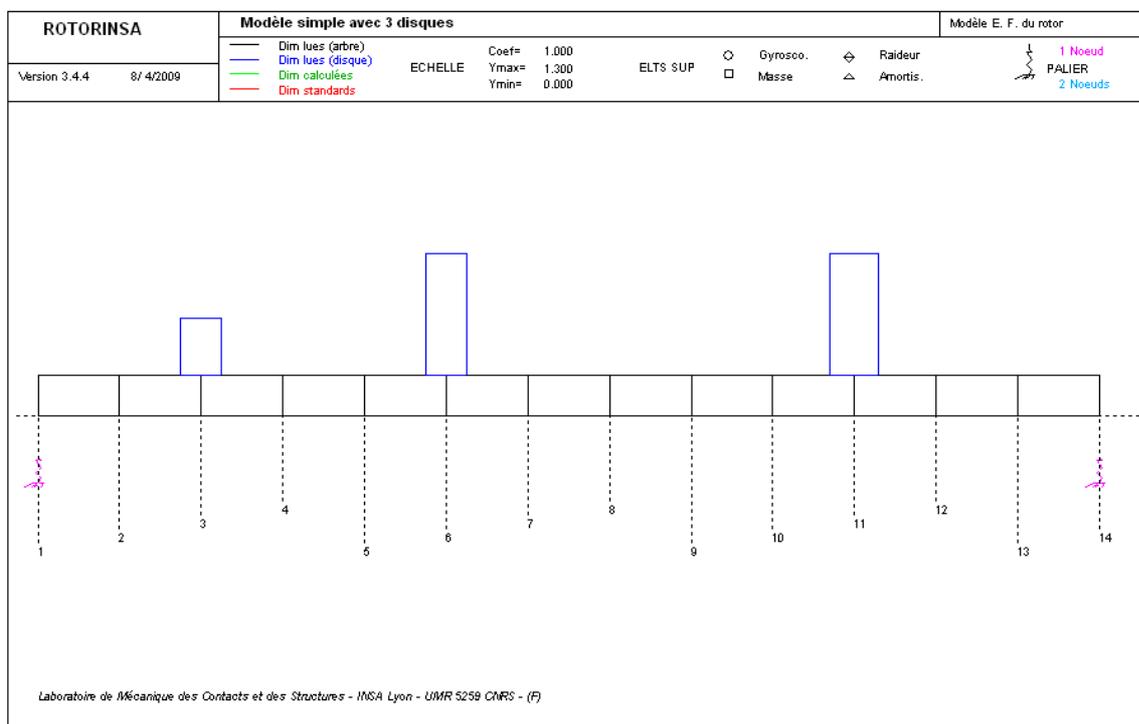


Figure 1-b : Caractéristique du modèle éléments finis sous ROTORINSA.

## 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 ( <i>tr/mn</i> ) | ROTORINSA     |                         | Code_Aster                 |                                     |
|--------------------|--------------------------------------|---------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
|                    |                                      | <i>F</i> (Hz) | Facteur d'amortissement | Tolérance de <i>F</i> (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.

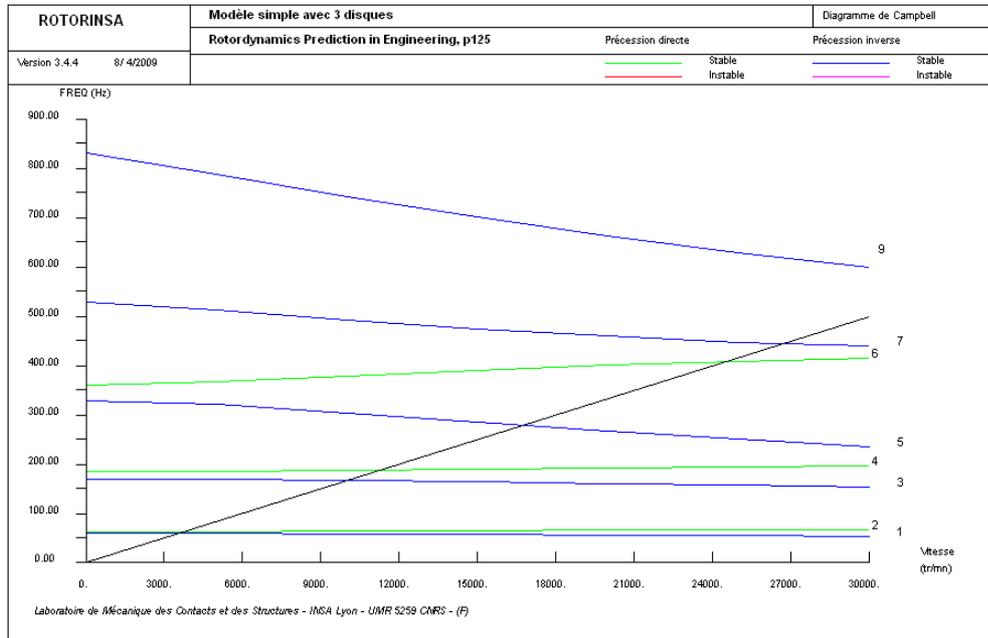


Figure 3.2.2-a-a : Diagramme de Campbell en flexion donné par ROTORINSA

### Diagramme de Campbell, methode de calcul QZ

Modes en flexion, tri par precession

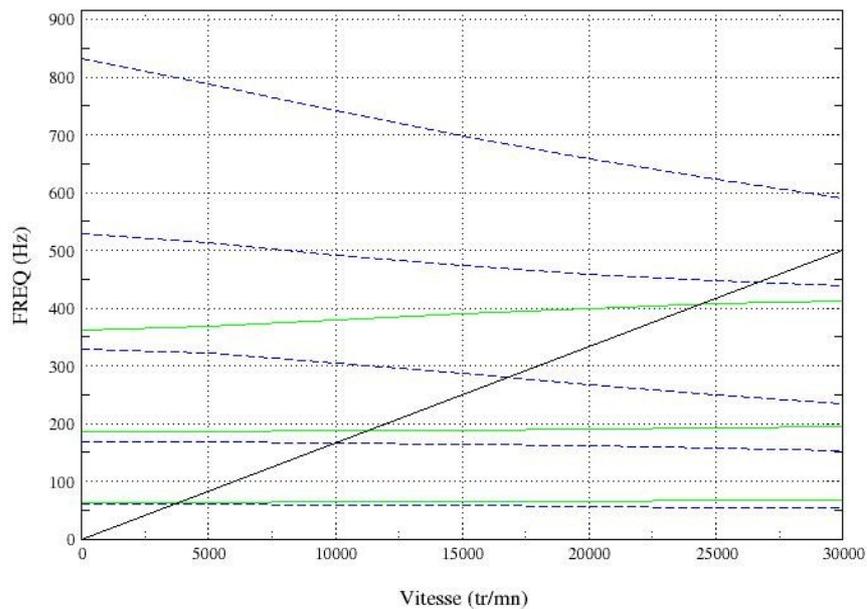


Figure 3-b : Diagramme de Campbell en flexion donnée par Code\_Aster

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

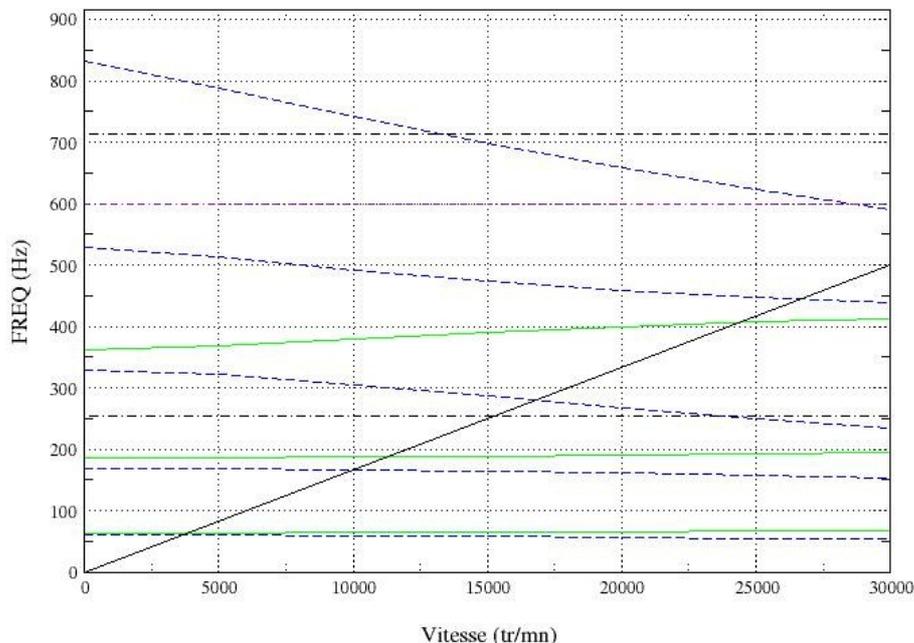


Figure 3-c : Diagramme de Campbell en flexion, torsion et traction-compression

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<br>$S=1$   |                     | Code-Aster<br>$S=1$  |                     |
|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Vitesse<br>( tr/mn ) | Fréquence<br>( Hz ) | Vitesse<br>( tr/mn ) | Fréquence<br>( 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.