SDLL123 - Fréquence d'une ligne d'arbre simplifiée avec gyroscopie

Résumé :

Ce test permet de valider le calcul des modes en rotation d'un système d'arbres tournant.

Dans ce test, il s'agit d'un modèle simple de rotor avec 1 disques simplement supporté.

Quatre modélisations sont effectuées :

- Modélisation B : POU_D_E
- Modélisation D : POU_D_EM
- Modélisation E : POU_D_TG
- Modélisation F : POU_D_TGM

Les modélisations A et C sont sans objet pour la gyroscopie. Il s'agit de tests de validation mathématique.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



- Poutre :
  $L=0.9\,m$
  $r=0.025\,m$

1.2 Propriétés du matériau

- Poutre
  - $E=2.06\,E11\,Pa$ Module d'Young
  - $\nu=0.$ Coefficient de Poisson
  - $\rho=7800.\,kg/m^{-3}$ Masse volumique
- Disque
  - $m=0.03829\,Kg$
  - tenseur d'inertie massique
  - $I_{yy}=1.8\times10^{-6}\,Kg.m^2$
  - $I_{yy}=1.8\times10^{-6}\,Kg.m^2$
  - $I_{zz}=1.8\times10^{-6}\,Kg.m^2$
  - $I_{xy}=I_{yz}=I_{xz}=0.$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Déplacements imposés (m) :
Points A et B : $DX=DY=DZ=0$

vitesse de rotation:
$\omega=10000\,tr/mn$

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour les solutions de référence

La solution de référence est une solution obtenue avec python. En effet, deux méthodes de calculs ont été utilisées pour déterminer les fréquences. Chacune des méthodes utilise les matrices de rigidité, de masse, gyroscopique et d'amortissement calculées par *Code_Aster*. Pour la recherche des fréquences du problème modal quadratique, on utilise :

- la libraire mathématique python `numpy` (recherche de valeurs propres)
- la commande `CALC_MODES`

Ce n'est donc pas à proprement parler une non-régression. En revanche pour la validation des éléments de poutre et en l'absence d'éléments de comparaison, il s'agit bien de non-régression.

2.2 Grandeurs de référence

- $FREQ$ fréquence
- $AMOR_REDUIT$: amortissement réduit

2.3 Résultat de référence

A titre d'indication, les résultats de référence pour la poutre d'Euler droite sont donnés ci-dessous.

numpy	
$N°$	$FREQ(Hz)$
1	123.915
2	124.546
3	497.033
4	499.575

CALC_MODES		
$N°$	$FREQ(Hz)$	$AMOR_REDUIT$
1	123.915	0.0
20	7971.6	0.0
40	21163.265	0.0
60	37289.789	0.0
80	74712.423	0.0

2.4 Incertitude sur la solution

Solution numérique

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation A

Modélisations POU_D_E et DIS_TR
Nombre de nœuds : 19
Nombre de mailles : 19 soit 18 SEG2 et 1 POI1
Groupe de nœuds:
$PALIER_A$
$PALIER_B$

3.2 Grandeurs testées et résultats

- ***Premier calcul modal :*** **il est de type GEP**. On le résout *via* l'opérateur CALC_MODES + SOLVEUR_MODAL=_F(METHODE='SORENSEN') (concept MODES).

$N°$	$FREQ(Hz)$ affichée dans le .mess	Tolérance
2	124.231	10^{-6}
3	124.231	10^{-6}
4	498.302	10^{-6}
5	498.302	10^{-6}
6	1118.15	10^{-6}
7	1118.15	10^{-6}
8	1993.47	10^{-6}
9	1993.47	10^{-6}
10	2021.39	10^{-6}
11	2850.72	10^{-6}

- On teste aussi la commande INFO_MODE. Le GEP étant standard (matrices symétriques réelles) ses valeurs propres appartiennent uniquement à l'axe réel. Sur ce cas, on peut donc comparer les deux méthodes de dénombrement (COMPTAGE/METHODE='STURM' et 'APM') et vérifier qu'elles donnent bien les mêmes résultats.
On détermine ainci le nombre de valeurs propres (NB_FREQ) contenues strictement dans une bande fréquentielle [FREQ_MIN,FREQ_MAX] (si Sturm) ou dans le disque de centre FREQ_CENTRE et de rayon, en fréquentiel, $\frac{\sqrt{\text{RAYON_CONTOUR}}}{2\pi}$ (si APM) . On précise la méthode de dénombrement utilisée (Sturm ou APM).

Concept	FREQ_MIN/ CENTRE_CONTOUR	FREQ_MAX/ RAYON_CONTOUR	NB_FREQ	Méthode de dénombrement
NBMOD01	-1.0	120.0	1 On compte λ_1 .	Sturm
NBMOD02	-1.0	130.0	3 On compte $(\lambda_i)_{i=1,3}$.	Sturm
NBMOD03	-1.0	1200.0	7 On compte	Sturm

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

			$(\lambda_i)_{i=1,7}$.	
NBMOD11	0.0+0.0j	5.684 10^5 (= $(120x2\pi)^2$)	1 Idem NBMOD01	APM
NBMOD12	0.0+0.0j	6.671 105 (= $(130x2\pi)^2$)	3 Idem NBMOD02	APM
NBMOD13	0.0+0.0j	5.684 107 (= $(1200x2\pi)^2$)	7 Idem NBMOD03	APM

- ***Second calcul modal:*** il est de type QEP**.** On le résout *via* l'opérateur CALC_MODES + SOLVEUR_MODAL=_F(METHODE='QZ') (concept MODEQ).

$N°^1$	$FREQ(Hz)$ affichée dans le .mess (= $\frac{\Im(\lambda_i)}{2\pi}$)	$AMORTISSEMENT$ affichée dans le .mess (= $\frac{-\Re(\lambda_i)}{\lvert\lambda_i\rvert}$)	Module de la valeur propre (= $\lvert\lambda_i\rvert$)	Tolérance
Sans objet	Pas retenue dans *Code_Aster* car valeur propre réelle	Sans objet	0	Sans objet
Sans objet	Pas retenue dans *Code_Aster* car valeur propre réelle	Sans objet	0	Sans objet
1	123.915 + le complexe conjuguée	10^{-11}	778.5	0.5
2	124.546 + le complexe conjuguée	10^{-09}	782.5	0.5
...	...	...	...	...
10	2850.72 + le complexe conjuguée	10^{-15}	18849.5	0.5
11	3099.17 + le complexe conjuguée	10^{-11}	19472.6	0.5
...	...	...	...	...
41	21273.2 + le complexe conjuguée	10^{-12}	133663.4	0.5
42	21380.2 + le complexe conjuguée	10^{-12}	134335.7	0.5
...	...	...	...	...

1 Seulement l'ordre dans la structure de données *Code_Aster*, puisqu'il n'y a pas de relation d'ordre dans le plan complexe.

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

- On teste aussi la commande INFO_MODE. Puisqu'il s'agit d'un QEP à matrices réelles, ses valeurs propres sont, soit réelles, soit complexes conjuguées. On ne peut donc ici n'utiliser que la méthode APM. Elle détermine le nombre de valeurs propres (NB_FREQ) contenues ici strictement dans le disque de centre CENTRE_CONTOUR et de rayon RAYON_CONTOUR.

Concept	CENTRE_CONTOUR	RAYON_CONTOUR	NB_FREQ	Méthode de dénombrement
NBMOD04	0.0+0.0j	779.114 (= $124x2\pi$)	4 On compte les 2 valeurs nulles + le couple $(\lambda_1, \bar{\lambda}_1)$.	APM
NBMOD05	0.0+779.114j (= $0.0+124x2\pi j$)	7	2 on compte les 2 valeurs λ_1 et λ_2 sans leur conjugué.	APM
NBMOD06	0.0+0.0j	1.884 10^4 (= $3000x2\pi$)	22 On compte les 2 valeurs nulles + les couples $(\lambda_i, \bar{\lambda}_i)_{i=1,10}$.	APM
NBMOD07	0.0+0.0j	1.338 10^5 (= $21300x2\pi$)	84 On compte les 2 valeurs nulles + les couples $(\lambda_i, \bar{\lambda}_i)_{i=1,41}$.	APM
NBMOD08	779.114(1.0+j) (= $124x2\pi(1.0+j)$)	701.203 (= $0.9x124x2\pi$)	0	APM

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation B

Modélisations POU_D_E et DIS_TR

Nombre de nœuds 19

Nombre de mailles 18 Soit: SEG2 18

Groupe de nœuds:

$PALIER_A$

$PALIER_B$

4.2 Grandeurs testées et résultats

- **CALC_MODES**

$N°$	$FREQ(Hz)$	Tolérance
1	123.915	10^{-4}

$N°$	$AMOR_REDUIT$	Tolérance
1	0.0	10^{-4} %

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

5 Modélisation C

Ce test de type validation purement mathématique est sans objet pour la gyroscopie.

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation D

Modélisations POU_D_EM et DIS_TR

Nombre de nœuds 19

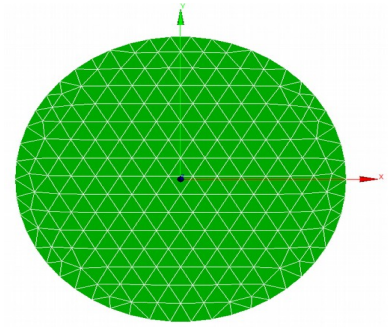
Nombre de mailles 18 Soit: SEG2 18

Groupe de nœuds:

$PALIER_A$

$PALIER_B$

Maillage de la section



6.2 Grandeurs testées et résultats

- **CALC_MODES**

$N°$	$FREQ(Hz)$	Tolérance
1	123.429	10^{-4}
20	7507.3	10^{-4}
40	18555.3	10^{-4}
60	35125.2	10^{-4}
80	54195.4	10^{-4}

$N°$	$AMOR_REDUIT$	Tolérance
1	0.0	10^{-4} %
20	0.0	10^{-4} %
40	0.0	10^{-4} %
60	0.0	10^{-4} %
80	0.0	10^{-4} %

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation E

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

Modélisations POU_D_TG et DIS_TR

Nombre de nœuds	19			
Nombre de mailles	18	Soit:	SEG2	18

7.2 Grandeurs testées et résultats

- **CALC_MODES**

Les tests assurent la non régression du code et portent sur la fréquence et l'amortissement réduit.

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

8 Modélisation F

8.1 Caractéristiques de la modélisation F

Modélisations POU_D_TGM et DIS_TR

Nombre de nœuds 19

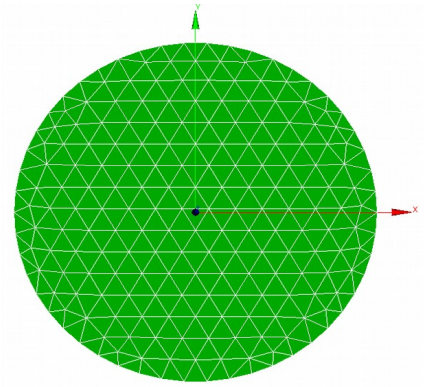
Nombre de mailles 18 Soit: SEG2 18

Groupe de nœuds:

PALIER_A

PALIER_B

Maillage de la section



8.2 Grandeurs testées et résultats

- **CALC_MODES**

Les tests assurent la non régression du code et portent sur la fréquence et l'amortissement réduit.

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

9 Synthèse des résultats

On constate une bonne implantation de l'effet gyroscopique pour tous les éléments de poutre droite de *Code_Aster*. En absence de référence analytique pour la validation des éléments poutres multifibre et/ou avec gauchissement soumis à l'effet gyroscopique, la validation se fait par comparaison avec les résultats fournis par le module python.

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