SDNL133 – Rotor fissuré tournant, soumis à un effort de flexion

Résumé :

L'objet de ce test est de valider la modélisation d'une fissure 1D dans un rotor. Cette fonctionnalité est disponible via l'option ROTOR_FISS de l'opérateur DYNA_VIBRA.

Le cas-test met en jeu une poutre en rotation lente soumise à un moment de flexion constant.

On compare la solution avec un calcul en 3D réalisé avec STAT_NON_LINE pour les positions extrêmes de fissure fermée et de fissure ouverte.

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

1 Problème de référence

L'objectif de ce cas test est de valider la modélisation 1D d'un rotor fissuré (option ROTOR_FISS de DYNA_VIBRA) qui simule par une loi équivalente le comportement d'une fissure dans une ligne d'arbre.

La loi est établie grâce à des calculs 3D réalisés en quasi-statique (cf. modélisation D).

On compare les résultats obtenus par la modélisation « poutre » et l'élément de fissure avec le calcul 3D pour les positions extrêmes : fissure fermée et fissure complètement au maximum.

1.1 Géométrie

Pour le rotor fissuré on considère une simple poutre droite cylindrique de longueur $2\mathrm{L}=4\,m$ et de diamètre $D=0{,}8\,m$. La fissure se trouve au milieu de la poutre et possède un fond droit. La profondeur de la fissure est de 65%.

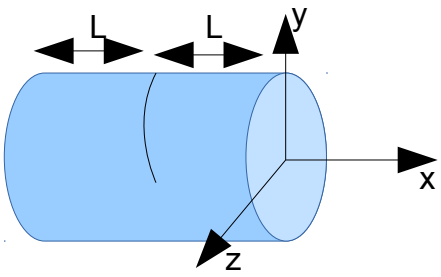


Figure 1: Géométrie du rotor fissuré

1.2 Propriétés de matériaux

Le rotor a une masse volumique de $\rho=7\,800\,kg/m^3$.
Le module d'Young est $E=210\,10^9\,N\,m^{-2}$ et le coefficient de Poisson est $\nu=0{,}3$.

1.3 Conditions aux limites et chargements

Pour les modélisations A, B et C, la poutre est encastrée à gauche et est soumise à un moment de flexion d'amplitude unitaire selon Y sur son extrémité droite. On considère que la fissure tourne relativement lentement à la vitesse 5 tours par seconde ($300\,\mathrm{rpm}$).

Pour la modélisation D, Les conditions aux limites imposées sont d'une part, un encastrement au sens de la théorie des poutres de l'une des extrémités du cylindre au moyen d'un raccord 3D-POU, et d'autre part, un contact unilatéral sans frottement entre les lèvres des fissures. Le chargement imposé est un moment fléchissant unitaire de composantes (M_x, M_y) appliqué à l'extrémité libre. L'orientation de ce moment évolue en fonction de l'instant de calcul.

1.4 Conditions initiales

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

À l'état initial, $t=0$, la fissure est fermée. Elle est progressivement ouverte par une rampe linéaire étalée sur $0.2\,s$ menant le moment selon Y de 0 à $1\,Nm$.

2 Solution de référence

La solution de référence est un calcul 3D effectué avec STA_NON_LINE. On récupère par un post-traitement la déformée de la fibre neutre.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Le rotor est modélisé par des éléments de poutre d'Euler (POU_D_E).
La fissure est modélisée par la fonctionnalité ROTOR_FISS de DYNA_VIBRA. La loi de comportement de fissure est entrée par une fonction, elle-même déterminée sur un barreau de diamètre unitaire, indépendante de la géométrie du rotor (cf. modélisation D).
DYNA_VIBRA calcule le transitoire sur base modale. Cette dernière n'est pas orthogonale mais constituée d'une part des modes de poutre du rotor à fissure fermée (jusqu'à $250\,\mathrm{Hz}$) et des premiers 2 modes de poutre à fissure ouverte.

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles SEG2 21

3.3 Résultats : comparaison entre calcul 3D et calcul 1D

On constate, en traçant le déplacement de l'extrémité de la poutre soumise au moment de flexion, que la fissure s'ouvre et se ferme selon l'angle du fond de fissure par rapport à la direction du moment exercé.

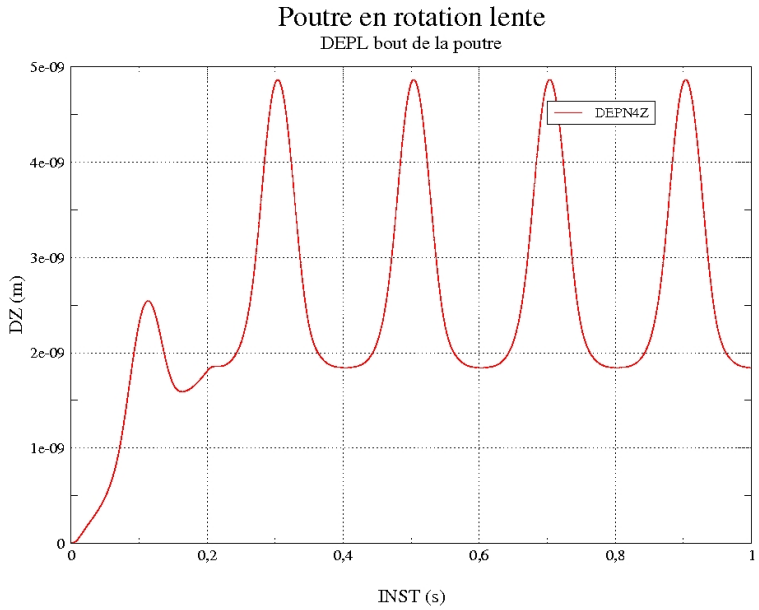


Figure 3:

Déplacement de l'extrémité du rotor soumise au moment de flexion

On trace la fibre neutre de la poutre pour la fissure fermée (figure 4) et pour la fissure ouverte (figure 5). Elles sont comparables.

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

Le tableau 3.3-1 donne les valeurs numériques testées dans ce cas-test. Il s'agit des déplacements en extrémité de rotor pour les situations fissure ouverte et fissure fermée.

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
Fissure ouverte - DZ en bout	'AUTRE_ASTER'	4.52765E-09	10%
Fissure ouverte - DZ en bout	'NON_REGRESSION'	4.8308805E-09	0.0001%
Fissure fermée - DZ en bout	'AUTRE_ASTER'	1.77757E-09	10%
Fissure fermée - DZ en bout	'NON_REGRESSION'	1.8442025E-09	0.0001%

Tableau 3.3-1: Récapitulatif des résultats testés

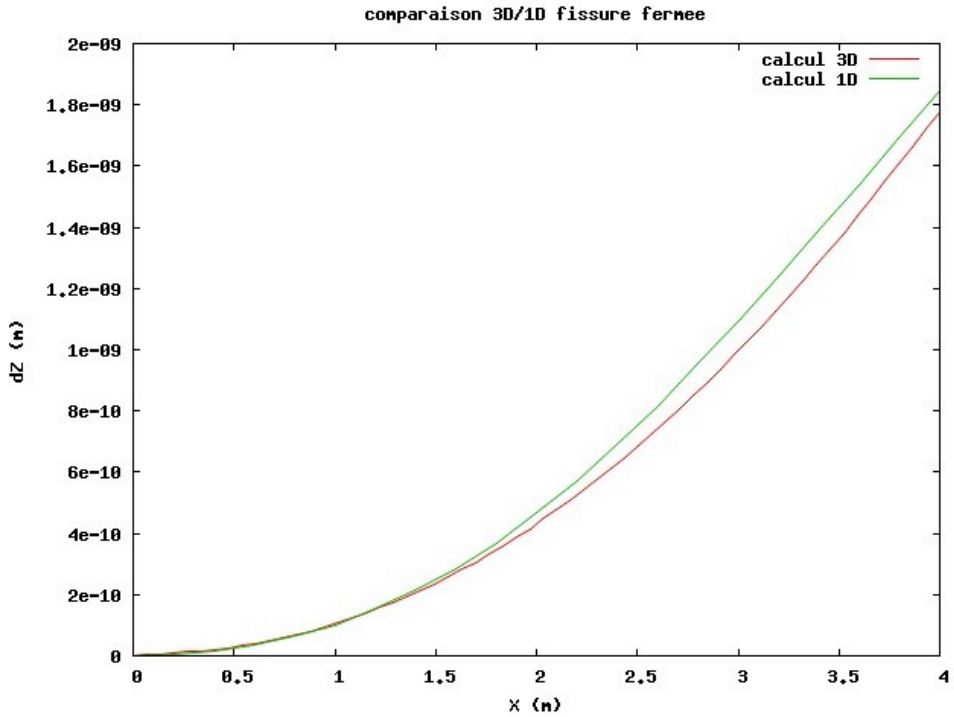


Figure 4: Comparaison 1D/3D fissure fermée

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

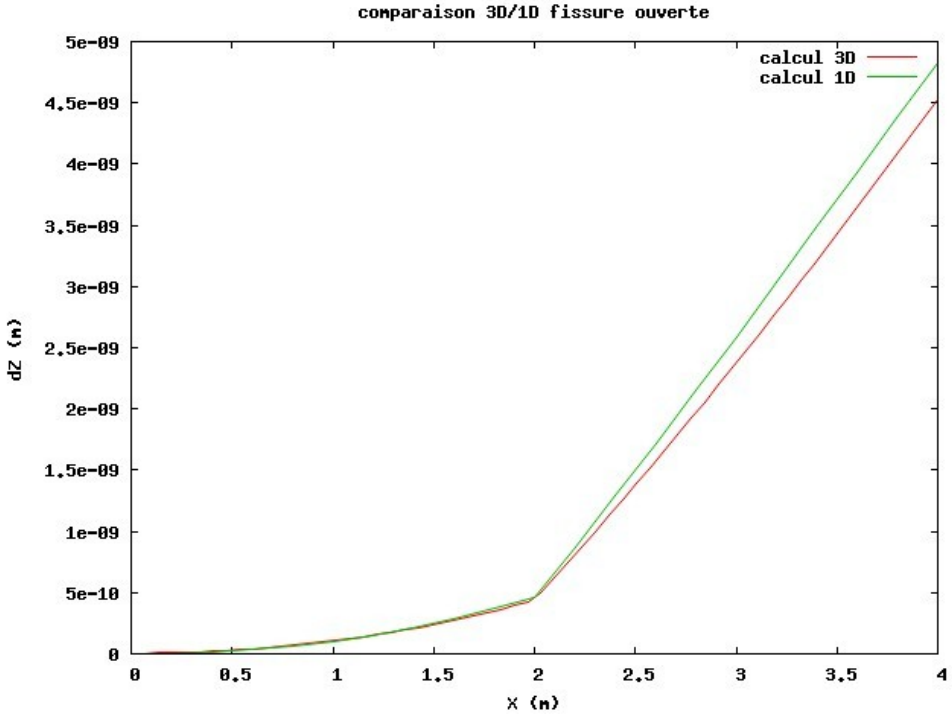


Figure 5: comparaison 1D/3D fissure ouverte

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation B reprend la modélisation A en tournant le modèle de $90\,°$. L'axe de rotation se retrouve selon l'axe Y .

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles SEG2 21

4.3 Résultats : comparaison entre calcul 3D et calcul 1D

On retrouve les mêmes résultats que ceux de la modélisation A, résumés dans le tableau 4.3-1 .

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
Fissure ouverte - DZ en bout	'AUTRE_ASTER'	4.52765E-09	10%
Fissure ouverte - DZ en bout	'NON_REGRESSION'	4.8308805E-09	0.0001%
Fissure fermée - DZ en bout	'AUTRE_ASTER'	1.77757E-09	10%
Fissure fermée - DZ en bout	'NON_REGRESSION'	1.8442025E-09	0.0001%

Tableau 4.3-1: Récapitulatif des résultats testés

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation C reprend la modélisation A . La différence est l'imposition d'un transitoire de vitesse au rotor fissuré tournant par le biais d'une loi linéaire de vitesse de rotation.

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles SEG2 21

5.3 Résultats : comparaison entre calcul 3D et calcul 1D

On retrouve les mêmes résultats que ceux de la modélisation A, résumés dans le tableau 5.3-1 .

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
Fissure ouverte - DZ en bout	'AUTRE_ASTER'	4.52765E-09	10%
Fissure ouverte - DZ en bout	'NON_REGRESSION'	4.8308805E-09	0.0001%
Fissure fermée - DZ en bout	'AUTRE_ASTER'	1.77757E-09	10%
Fissure fermée - DZ en bout	'NON_REGRESSION'	1.8442025E-09	0.0001%

Tableau 5.3-1: Récapitulatif des résultats testés

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

Comme précisé précédemment, la caractérisation du comportement du rotor fissuré nécessite la réalisation d'un modèle tridimensionnel de poutre fissurée en flexion bi-axée.

Cette modélisation D permet de capitaliser la procédure de maillage d'un cylindre standard fissuré ainsi que le script python permettant d'identifier les lois caractérisant le comportement du rotor fissuré étudié dans les modélisations A, B et C.

On considère un élément de rotor de module d'Young E, d'inertie quadratique I (identique dans toutes les directions du plan de section) et de longueur $2L=4\,m$ et de diamètre $D=1\,m$ renfermant dans sa section médiane une fissure transverse à fond droit de profondeur 65%.

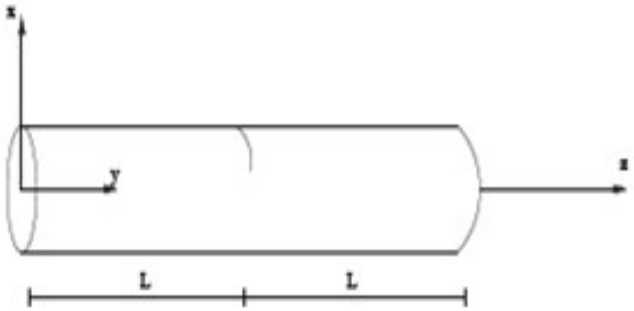


Figure 6: éprouvette fissurée unitaire

Un calcul statique non linéaire est réalisé avec *Code_Aster* pour 36 pas de chargement en faisant évoluer l'orientation Φ_i du moment avec un pas de $10°$ de manière à parcourir l'intervalle complet $[0°-360°]$. Le post-traitement est réalisé par un script Python qui exploite le fichier de résultats issu de *Code_Aster*. À partir des rotations suivant X et Y de l'extrémité du cylindre sous chargement tournant imposé pour chaque instant de calcul, le script Python permet de calculer l'énergie de déformation, la souplesse associée aux déformations du cylindre fissuré, la rigidité locale ainsi que sa dérivée.

Les courbes adimensionnées de raideur et dérivée obtenues dépendent de l'orientation Φ des efforts appliqués par rapport à la position angulaire de la fissure .

6.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 6315 nœuds et 6720 mailles.

Nombre de mailles POI1	17
Nombre de mailles SEG2	77
Nombre de mailles TRIA3	94
Nombre de mailles QUAD4	932
Nombre de mailles PENTA6	480
Nombre de mailles HEXA8	5120

6.3 Résultats : Loi de comportement de fissure 1D

La loi de comportement de la fissure 1D est tracée sur la figure ci-dessous.

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

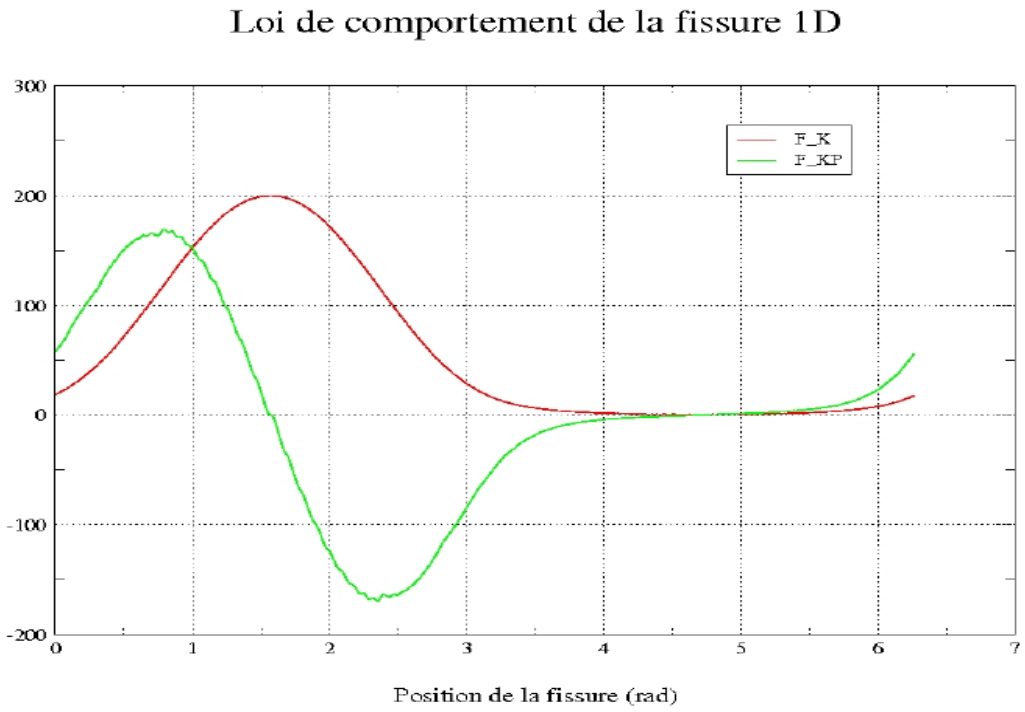


Figure 7: Loi de comportement de la fissure 1D

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

7 Synthèse des résultats

Le cas-test met en œuvre la rotation lente d'une poutre fissurée, encastrée à un bout et soumise à un moment de flexion à l'autre. La modélisation 1D de rotor fissuré programmé dans DYNA_VIBRA est ainsi validée par rapport aux résultats obtenus en statique avec le modèle équivalent 3D.

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