FDLV108 - Calcul d'amortissement ajouté en écoulement annulaire (masse volumique variable)

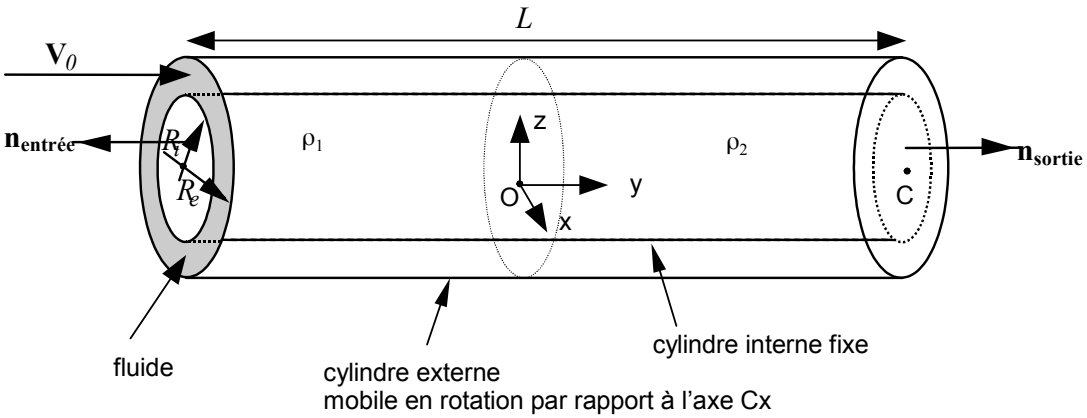
Résumé :

Ce test du domaine fluide-structure met en œuvre le calcul de masse et d'amortissement ajoutés sur une structure cylindrique soumise à un écoulement annulaire qu'on suppose potentiel. On calcule masse et amortissement ajoutés par l'écoulement sur la structure pour une vitesse amont de $4\,m.s^{-1}$, sur un modèle 3D pour le fluide et coque pour la structure. La structure a un déplacement de rotation autour d'un pivot situé à l'extrémité aval du cylindre par rapport à l'écoulement. L'intérêt du test réside dans la prise en compte d'un domaine fluide de masse volumique **non homogène**.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



$L = 50\,m$

$R_i = 1\,m$

$R_e = 1.1\,m$

C : point pivot de la structure externe (pivotement autour de Cx)

1.2 Propriétés des matériaux

fluide : masse volumique $\rho_1 = 1000\,kg.m^{-3}$; $\rho_2 = 750\,kg.m^{-3}$;

Structure : $\rho_s = 7800\,kg/m^3$; $E = 2.1\,10^{11}\,Pa$; $\nu = 0.3$ (acier).

1.3 Conditions aux limites et chargements

Fluide :

1) pour simuler l'écoulement permanent, on impose sur la face d'entrée du fluide une vitesse normale de $-4\,m/s$ (par analyse thermique, on impose un flux de chaleur normal équivalent de -4) ;
2) pour modéliser la variation de masse volumique, on impose une condition de continuité du débit à l'interface ;
3) pour calculer la perturbation fluide apportée par le mouvement du cylindre externe on impose une condition aux limites de Dirichlet en un nœud du fluide.

Structure :

1) on impose au cylindre externe un déplacement du type $\mathbf{X}_i = \left(\frac{L}{2} - y\right)\mathbf{z}$ aux nœuds du maillage de ce cylindre.

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Pour le calcul des coefficients ajoutés :

on montre [bib1] que les coefficients de masse et d'amortissements ajoutés dépendent, dans chaque région où ρ est constant, du potentiel permanent des vitesses fluides $\bar{\Phi}$ ainsi que de deux potentiels fluctuants Φ_1 et Φ_2 : ces potentiels s'écrivent dans le cas du mouvement de rotation du cylindre externe autour du pivot C [bib1] :

Pour la région relative à ρ_1 :

$$\begin{cases} \bar{\varphi} = V_0 y \\ \phi_1 = \dfrac{R_e^2}{R_e^2 - R_i^2}\left(r + \dfrac{R_i^2}{r}\right)\left(y + \dfrac{L}{2}\right)\sin\theta \quad \text{avec } \mathbf{X}_i = \left(\dfrac{L}{2} - y\right)\mathbf{z} \\ \phi_2 = \dfrac{R_e^2 V_0}{R_e^2 - R_i^2}\left(r + \dfrac{R_i^2}{r}\right)\sin\theta \end{cases}$$

Pour la région relative à ρ_2 :

$$\begin{cases} \bar{\varphi} = \dfrac{\rho_1 V_0}{\rho_2} y \\ \phi_1' = \dfrac{R_e^2}{R_e^2 - R_i^2}\left(r + \dfrac{R_i^2}{r}\right)\left(y + \dfrac{L}{2}\right)\sin\theta \quad \text{avec } \mathbf{X}_i = \left(\dfrac{L}{2} - y\right)\mathbf{z} \\ \phi_2 = \dfrac{\rho_1}{\rho_2}\dfrac{R_e^2 V_0}{R_e^2 - R_i^2}\left(r + \dfrac{R_i^2}{r}\right)\sin\theta \end{cases}$$

Or les coefficients modaux ajoutés projetés sur ce mode de rotation s'écrivent :

$$M_a = \rho \int_{\text{cylindre externe}} \phi_1 \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{n}\, dS$$

$$C_a = \rho \int_{\text{cylindre externe}} \left(\phi_2 + \nabla\bar{\varphi}.\nabla\phi_1\right)\left(\mathbf{X}_i \cdot \mathbf{n}\right) dS$$

soit en séparant l'intégrale sur deux demi-cylindres:

$$C_a = -\rho_1 \frac{V_0 R_e^2 \pi}{R_2^e - R_i^2}\left(R_e^2 + R_i^2\right) L^2$$

$$M_a = (7\rho_1 + \rho_2)\frac{R_e^2}{R_2^e - R_i^2}\left(R_e^2 + R_i^2\right)\frac{L^3\pi}{3}$$

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

1) Applications numériques :

On a fait un calcul d'amortissement ajouté qui correspond pour la vitesse donnée à un comportement vibratoire amorti de la structure :

vitesse V_0 à $4\,m.s^{-1}$

Les valeurs du système mécanique sont :

$$e = 2.10^{-2}\,m \qquad L = 50\,m \qquad R_i = 1\,m \qquad R_2 = 1{,}1\,m \qquad A = 4.24\,10^{8}\,N.m\,rad^{-1}s$$

La masse ajoutée apportée par l'écoulement vaut :

$M_a = 1.614\,10^{9}\,kg\,m^2$ (indépendant de la valeur de la vitesse d'écoulement)

L'amortissement ajouté vaut avec $V_0 = 4\,m.s^{-1}$ (il est indépendant du changement de masse volumique) :

$$C_a = -0.399\,10^{9}\;N.m\,rad^{-1}s$$

Sachant que l'amortissement du système mécanique vaut $A = 4.24\,10^{8}\;N.m\,rad^{-1}s$, l'amortissement total du système fluide/structure s'écrit :

1) à $V_0 = 4\,m/s$: $\alpha = -1.5\,10^{8}\;N.m\;rad^{-1}s$

L'écoulement n'amplifie pas les vibrations. L'amortissement structural interne est suffisamment important pour dissiper l'énergie apportée par l'écoulement à la structure. **Le système est encore amorti**.

2.2 Résultats de référence

Résultat analytique.

2.3 Références bibliographique

1) ROUSSEAU G., LUU H.T. : Masse, amortissement et raideur ajoutés pour une structure vibrante placée dans un écoulement potentiel - Bibliographie et implantation dans le *Code_Aster* - HP-61/95/064

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Pour le système 3D sur lequel on calcule les coefficients ajoutés :

Pour le solide : 240 mailles QUAD4
éléments de coques MEDKQU4

Pour le fluide : 240 mailles QUAD4
éléments thermiques THER_FACE4
sur les surfaces cylindriques

540 mailles QUAD4
éléments thermiques THER_FACE4
sur les faces d'entrée, de sortie et d'interface
du volume fluide

720 mailles HEXA8
éléments thermiques THER_HEXA8
dans le volume annulaire fluide

3.2 Valeurs testées

Identification	Référence
Coefficients ajoutés	
masse :	$1.614\ 10^{9}$
amortissement	$-0.399\ 10^{9}$

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

4 Synthèse des résultats

L'outil de calcul d'amortissement sous écoulement (hypothèse potentielle) a été validé sur le mode de rotation d'une structure cylindrique soumise à un écoulement annulaire avec masse volumique variable. Il faut cependant noter [bib1] que la très bonne concordance entre le modèle semi-analytique proposé pour comparaison et le calcul numérique n'est obtenue que si le cylindre est suffisamment long, le modèle semi-analytique n'étant en fait qu'une solution approchée du problème posé.

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