

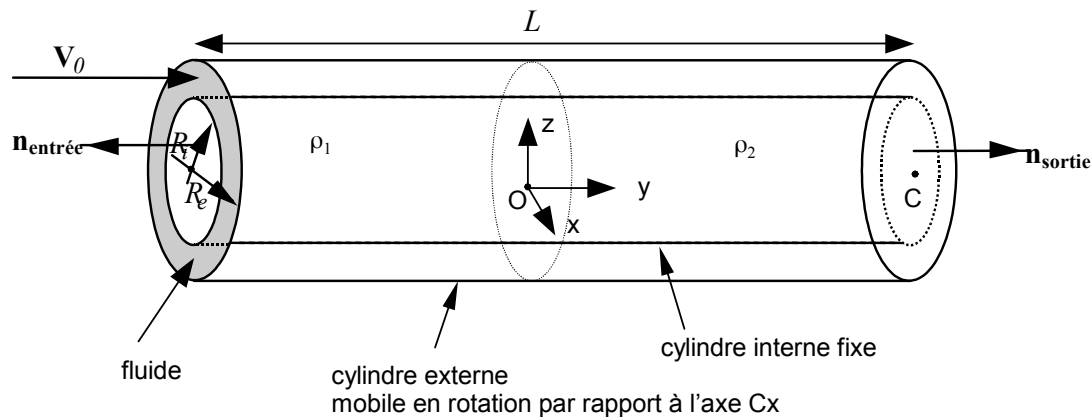
FDLV108 - Calcul d'amortissement ajouté en écoulement annulaire (masse volumique variable)

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**.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



$$L = 50 \text{ m}$$

$$R_i = 1 \text{ m}$$

$$R_e = 1.1 \text{ m}$$

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

1.2 Propriétés des matériaux

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

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

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] :

$$\begin{aligned} \bar{\phi} &= V_0 y \\ \text{Pour la région relative à } \rho_1 : \phi_1 &= \frac{R_e^2}{R_e^2 - R_i^2} r + \frac{R_i^2}{r} y + \frac{L}{2} \sin \theta \text{ avec } \mathbf{X}_i = \left[\frac{L}{2} - y \right] \mathbf{z} \\ \phi_2 &= \frac{R_e^2 V_0}{R_e^2 - R_i^2} r + \frac{R_i^2}{r} \sin \theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{\phi} &= \frac{\rho_1 V_0}{\rho_2} y \\ \text{Pour la région relative à } \rho_2 : \phi_1' &= \frac{R_e^2}{R_e^2 - R_i^2} r + \frac{R_i^2}{r} y + \frac{L}{2} \sin \theta \text{ avec } \mathbf{X}_i = \left[\frac{L}{2} - y \right] \mathbf{z} \\ \phi_2' &= \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{R_e^2 V_0}{R_e^2 - R_i^2} r + \frac{R_i^2}{r} \sin \theta \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} M_a &= \rho \int_{\text{cylindre externe}} \phi_1 \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{n} dS \\ C_a &= \rho \int_{\text{cylindre externe}} (\phi_2 + \nabla \bar{\phi} \cdot \nabla \phi_1) (\mathbf{X}_i \cdot \mathbf{n}) dS \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} C_a &= -\rho_1 \frac{V_0 R_e^2 \pi}{R_e^2 - R_i^2} (R_e^2 + R_i^2) L^2 \\ M_a &= (7\rho_1 + \rho_2) \frac{R_e^2}{R_e^2 - R_i^2} (R_e^2 + R_i^2) \frac{L^3 \pi}{3} \end{aligned}$$

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 :

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

La masse ajoutée apportée par l'écoulement vaut :

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

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

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

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

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

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

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_HEX8
dans le volume annulaire fluide

3.2 Valeurs testées

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

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.