FDLV109 - Calcul de coefficients ajoutés en écoulement plan

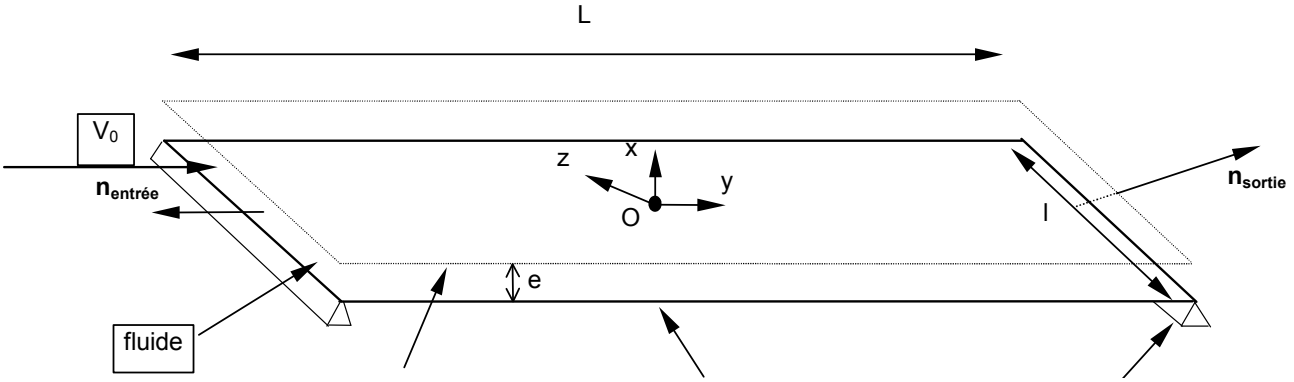
Résumé :

Ce test du domaine fluide/structure met en œuvre le calcul de masse, de rigidité et d'amortissement ajoutés sur une structure plane soumise à un écoulement confiné qu'on suppose potentiel. Ces coefficients ajoutés sont calculés pour une vitesse amont de $4\,m.s^{-1}$, sur un modèle 3D pour le fluide et coque pour la structure. La structure est soumise à un déplacement imposé de flexion.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



$L = 50\,m$

$I = 5\,m$

épaisseur de fluide $e = 0.5\,m$

épaisseur de la plaque $h = 0.5\,m$

le repère $Oxyz$ se situe à une distance de $\frac{e}{2}$ de la plaque

1.2 Propriétés des matériaux

Fluide : masse volumique $\rho = 1000\,kg.m^{-3}$ (eau).

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 :

- 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),
- 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.
- on impose en $x = \frac{e}{2}$ la condition $\phi_1 = \phi_2 = 0$ qui correspond à un débit nul à travers la paroi fluide supérieure.

Structure :

- la plaque est soumise à un déplacement correspondant à ses deux premiers modes de flexion [bib2] :

$$X_1 = \sin\frac{\pi y}{L} \;\; ; X_2 = \sin\frac{2\pi y}{L}$$

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 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 flexion de la plaque [bib1] :

Pour le premier mode :
$$\begin{cases} \bar{\varphi}^{(1)} = V_0 y \\ \phi_1^{(1)} = \left(x - \frac{e}{2}\right) \sin\frac{\pi y}{L} \\ \phi_2^{(1)} = \frac{V_0 \pi}{L}\left(x - \frac{e}{2}\right) \cos\frac{\pi y}{L} \end{cases}$$

Pour le deuxième mode :
$$\begin{cases} \bar{\varphi}^{(2)} = V_0 y \\ \phi_1^{(2)} = \left(x - \frac{e}{2}\right) \sin\frac{2\pi y}{L} \\ \phi_2^{(2)} = \frac{2V_0 \pi}{L}\left(x - \frac{e}{2}\right) \cos\frac{2\pi y}{L} \end{cases}$$

Or les coefficients modaux ajoutés projetés sur ces modes de flexion s'écrivent :

$$M_{ij}^a = \rho \int_{\text{cylindre externe}} \phi_2^{(i)} \mathbf{X}_j \,.\, \mathbf{n}\, dS$$
$$C_{ij}^a = \rho \int_{\text{cylindre externe}} \left(\phi_2^{(i)} + \nabla\bar{\varphi}^{(i)} . \nabla\phi_1^{(i)}\right)\left(\mathbf{X}_j \,.\, \mathbf{n}\right) dS$$
$$K_{ij}^a = \rho \int_{\text{cylindre externe}} \left(\nabla\bar{\varphi}^{(i)} . \nabla\phi_2^{(i)}\right)\left(\mathbf{X}_j \,.\, \mathbf{n}\right) dS$$

soit :

$$M_{11}^a = M_{22}^a = \rho e l \frac{L}{2} \;\; ; \;\; M_{12}^a = 0$$
$$C_{11}^a = C_{22}^a = 0 \;\; ; \;\; C_{12}^a = C_{21}^a = -\frac{8}{3}\rho e l V_0$$
$$K_{11}^a = -\rho e V_0^2 \frac{\pi^2 l}{2L} \;\; ; \;\; K_{22}^a = -\rho e V_0^2 \frac{2\pi^2 l}{L} \;\; ; \;\; K_{12}^a = 0$$

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

- 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 :

$$e = h = 5.10^{-1} m \qquad L = 50 m \qquad l = 5\ m$$

  La masse ajoutée apportée par l'écoulement vaut :

$$M_{11}^a = 0.625\ 10^5\, kg$$
$$M_{22}^a = 0.625\ 10^5\, kg$$
$$M_{12}^a = 0$$

  L'amortissement ajouté vaut avec $V_0 = 4\,m.s^{-1}$:

$$C_{11}^a = 0$$
$$C_{22}^a = 0$$
$$C_{12}^a = 0.266\ 10^5\ N.m^{-1}$$

  La raideur ajoutée vaut avec $V_0 = 4\,m.s^{-1}$:

$$K_{11}^a = -0.3943\ 10^4\ N.m^{-1}\ rad^2$$
$$K_{22}^a = -0.1577\ 10^5\ N.m^{-1}\ rad^2$$
$$K_{12}^a = 0$$

2.2 Résultats de référence

Résultat analytique.

2.3 Références bibliographique

- 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
- BLEVINS R.D : Formulas for natural frequency and mode shape. Ed. Krieger 1984

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 : 160 mailles QUAD4
éléments de coques MEDKQU4

Pour le fluide : 160 mailles QUAD4
éléments thermique THER_FACE4
sur la surface plane

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

480 mailles HEXA8
éléments thermiques THER_HEXA8
dans le volume fluide

3.2 Valeurs testées

Identification	Référence
M_{11}^a	0.625 10^5
M_{22}^a	0.625 10^5
M_{12}^a	0
C_{11}^a	0
C_{22}^a	0
C_{12}^a	0.266 10^5
K_{11}^a	–0.394 10^4
K_{22}^a	–0.157 10^5
K_{12}^a	0

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

4 Synthèse des résultats

L'outil de calcul de coefficients ajoutés sous écoulement (hypothèse potentielle) a été validé sur les deux premiers modes de flexion d'une structure plane. 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 la plaque est suffisamment longue, 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)