

SDLS107 – Cylindre soumis à une turbulence en écoulement annulaire axial

Résumé

Ce test du domaine de la dynamique linéaire des coques et des plaques met en œuvre le calcul de l'acceptance, une fonction destinée à calculer la DSP d'effort modale à partir d'une DSP de pression. Ce test précis met en œuvre une modélisation de type coques circulaire avec des éléments de couplage fluide / structure pour tester la méthode d'Au Yang.

1 Problème de référence

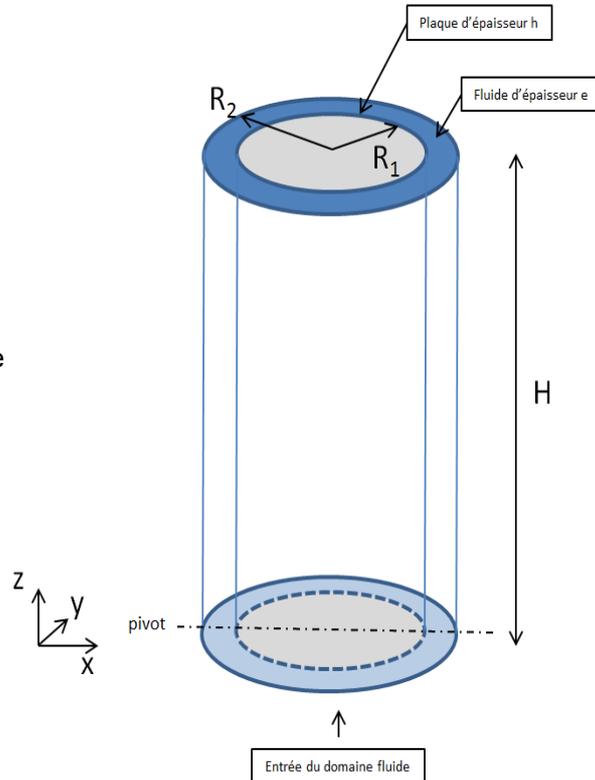
1.1 Géométrie

Hauteur cylindre $H = 50\text{ m}$

Rayon cylindre intérieur $R_1 = 1\text{ m}$

épaisseur du fluide $e = 1\text{ m}$ (Rayon cylindre extérieur $R_2 = 2\text{ m}$)

épaisseur de la plaque $h = 0.5\text{ m}$



1.2 Propriétés des matériaux

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

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 :

- pour simuler l'écoulement permanent, on impose sur la face d'entrée du fluide une vitesse normale de -4 m/s , la vitesse d'entrée \vec{V}_0 du fluide étant de sens inverse à la normale d'entrée,
- on impose en $R = R_2$ la condition $\phi = 0$ qui correspond à un débit nul à travers la paroi extérieure du fluide.

Structure :

- le cylindre est soumise à balancement autour d'un pivot situé en amont de l'écoulement annulaire axial le long de ce cylindre:

$$X_1 = z$$

Paramètre pour le calcul du spectre:

- Fréquence de coupure: $F = 15\text{Hz}$
- Constant pour l'amplitude du spectre de pression $K = 3,4 e^{-5} s^{1/2} / m^{3/2}$
- Diamètre hydraulique pour l'amplitude du spectre de pression $d = 1,5$
- Coefficient de la vitesse convective des tourbillons dans la direction axiale (direction de l'écoulement) $\alpha = 0,65$
- Coefficient de la vitesse convective des tourbillons dans la direction orthoradiale au cylindre, pour la méthode de AU_YANG . $\beta = 1$

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La masse ajoutée apportée par l'écoulement vaut :

$$M_A = \rho_f \pi R_1^2 \frac{R_1^2 + R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \frac{H^3}{3}$$

L'amortissement ajouté vaut :

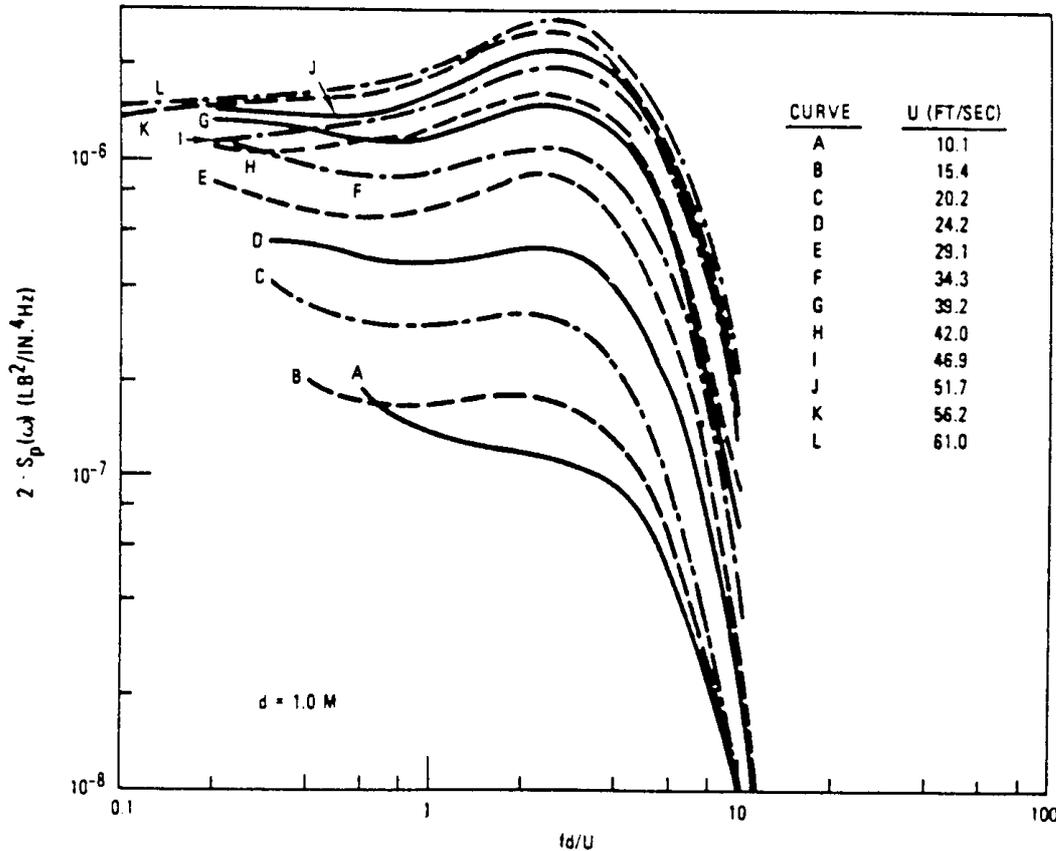
$$C_A = \rho_f \pi R_1^2 \frac{R_1^2 + R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} V_0 H^2$$

L'intérêt du test est ici de calculer et de tester l'autospectre d'effort modal obtenu à partir d'un spectre de pression caractéristique d'écoulements turbulents établis.

Une fois déterminé le mode de balancement en eau, compte tenu de ces coefficients ajoutés, l'autospectre d'efforts modaux turbulents s'écrit :

$$DSP(\omega) = S_p(\omega) J_{A_j}^2(\omega)$$

Le spectre choisi ici est constant puis nul à partir d'une fréquence de coupure :



On a pour spectre de pression :

$$S_p(\omega) = K^2 (\rho U^2)^2 d^3 \text{ pour } 0,1 < \frac{\omega d}{2\pi U} < 10$$

Avec les paramètres choisis, $S_p(\omega) \approx 1.0$

La fonction de cohérence choisie dans le cas de ce cylindre circulaire soumis à écoulement parallèle, est issue d'un modèle de AU_YANG:

$$r^{(s)}(x-x', \omega) = e^{-(x-x')/\lambda} \cos(\omega(x-x')/U_c)$$

$$r^{(s)}(\theta-\theta', \omega) = e^{-R(\theta-\theta')/\lambda'} \cos(\omega(\theta-\theta')/U'_c)$$

Les paramètres λ et λ' sont les longueurs de corrélation suivant l'axe et la direction orthoradiale respectivement.

U_c est la vitesse convective axiale des tourbillons : elle est égale au produit du coefficient de vitesse axiale par la vitesse du fluide, U'_c est la vitesse convective orthoradiale des tourbillons : elle est égale au produit du coefficient de vitesse orthoradiale par la vitesse du fluide,

La fonction acceptance est définie par :

$$J^2(\omega) = \int_A \int_A r(x-x', \omega) f_{i_\alpha}(x) f_{j_{\alpha'}}(x') n_\alpha(x) n_{\alpha'}(x') dA dA'$$

vaut dans notre cas :

$$J^2_{A_m}(\omega) = \int_A \int_A e^{-R|\theta-\theta'|/\lambda'} e^{-R|x-x'|/\lambda} \cos\left(\frac{\omega(x-x')}{U_c}\right) \cos\left(\frac{\omega R(\theta-\theta')}{U'_c}\right) x \cos\theta x' \cos\theta' dx R d\theta dx' R d\theta'$$

$$J^2_{A_m}(\omega) = \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{-R|\theta-\theta'|/\lambda'} \cos\left(\frac{\omega R(\theta-\theta')}{U'_c}\right) \cos\theta \cos\theta' R^2 d\theta d\theta' \int_0^H \int_0^H e^{-R|x-x'|/\lambda} \cos\left(\frac{\omega(x-x')}{U_c}\right) x x' dx dx'$$

On donne dans le tableau ci après des valeurs de cette intégrale à l'aide du logiciel Maple :

ω (rad/s)	$I_T(\omega)$
0.01	213612.483
0.1	214158.862
1.	222239.592
2.	105184.866
10.	453.767782

Ainsi, pour les pulsation 0.01 rad/s et 1 rad/s, la DSP d'effort modale vaut respectivement :

ω (rad/s)	DSP(ω)
0.01	2.13612E5
0.1	2.14159E5

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.
- [2] BLEVINS R.D : Formulas for natural frequency and mode shape. Ed. Krieger 1984.
- [3] ROUSSEAU G. Spécification du calcul d'acceptance dans le *Code_Aster*. Réponse spectrale de structures à une excitation turbulente aléatoire HP51/97/027/A

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Le modèle contient les éléments suivants:

Pour le solide :	1600 mailles QUAD4 éléments de coques MEDKQU4
Pour le fluide :	1600 mailles QUAD4 éléments thermique THER_FACE4 300 mailles HEXA8 et 3000 PENTA6 éléments thermiques THER_HEXA8 / THER_PENTA6 dans le volume fluide

3.2 Grandeurs testées et résultats

Identification	fréquence (Hz)	Type de référence	Référence	% tolérance
$DSP(\omega)\omega=0,01$	1.59155e-03	'SOURCE_EXTERNE'	2.13612e+05	2.0
$DSP(\omega)\omega=0.1$	1.59155e-02	'SOURCE_EXTERNE'	2.14159e+05	2.0

4 Synthèse des résultats

L'outil de calcul de l'acceptance dans le cas d'une turbulence homogène sur un cylindre a été validé.