SDLS107 – Cylindre soumis à une turbulence en écoulement annulaire axial

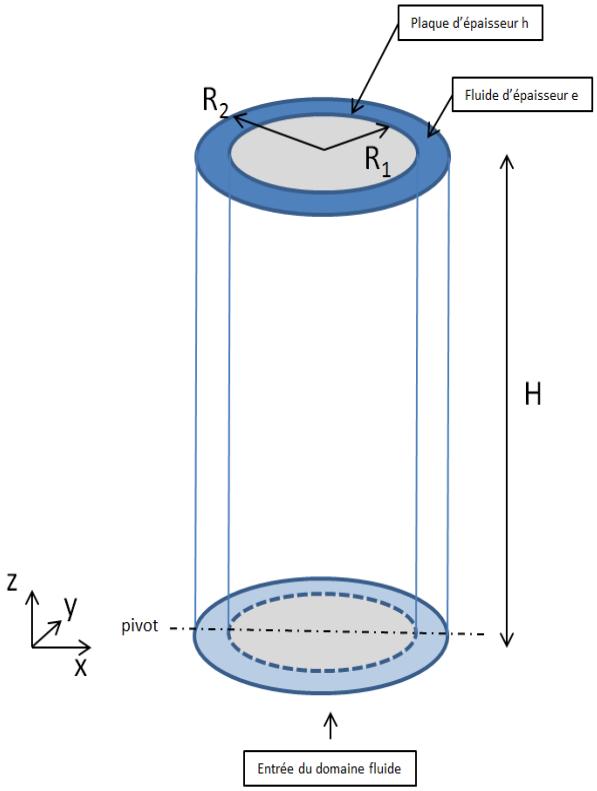
Résumé

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. La compatibilité du calcul d'acceptance avec différents types de modèles d'interfaces est testée : 3D Mécanique, 3D Thermique, Fluide-Structure et Mécanique.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Hauteur cylindre $H=50\,m$

Rayon cylindre intérieur $R_1=1\,m$

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

épaisseur de la plaque $h=0.5\,m$

1.2 Propriétés des matériaux

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

Structure : $\rho_s=7800\,kg/m^3$, $E=2.110^{11}\,Pa$, $\nu=0.3$ (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 $-4\,m/s$, 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 extérieur 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:

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

- Fréquence de coupure: $F=15\mathrm{Hz}$
- Constant pour l'amplitude du spectre de pression $K=3,4e^{-5}s^{1/2}/m^{3/2}$
- 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 . $\beta=1$

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

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 :

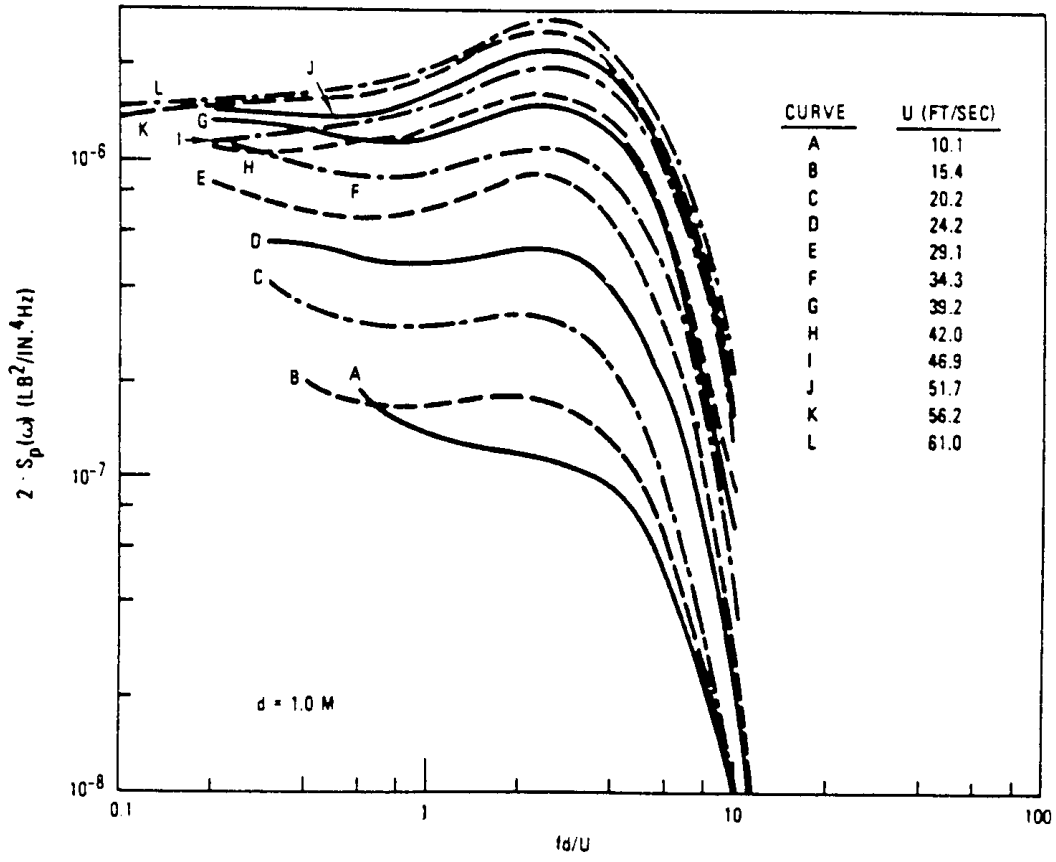
$$C_A = \rho_f \pi R_1^2 \frac{R_1^2 + R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} V_0 H^2$$

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 :

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

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



On a pour spectre de pression :

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

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

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 :

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

vaut dans notre cas :

$$J^2_{A_{nm}}(\omega)=\int_A\int_A e^{-R|\theta-\theta'|/\lambda'}e^{-R|x-x'|/\lambda}\cos\left(\frac{\omega(x-x')}{U_c}\right)\cos\left(\frac{\omega R(\theta-\theta')}{U_c'}\right)x\cos\theta\,x'\cos\theta'\,dxRd\theta\,dx'Rd\theta'$$

$$J^2_{A_{nm}}(\omega)=\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi}e^{-R|\theta-\theta'|/\lambda'}\cos\left(\frac{\omega R(\theta-\theta')}{U_c'}\right)\cos\theta\cos\theta'R^2\,d\theta\,d\theta'\int_0^H\int_0^H e^{-R|x-x'|/\lambda}\cos\left(\frac{\omega(x-x')}{U_c}\right)x\,x'\,\mathrm{dxdx}'$$

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

$\omega(rad/s)$	$I_T(\omega)$
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 :

$\omega(rad/s)$	$DSP(\omega)$
0.01	2.13612E5
0.1	2.14159E5

2.2 Résultats de référence

Résultat analytique.

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

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

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

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

Le modèle d'interface entre le solide et le fluide a les caractéristiques suivantes :
- Modélisation : '3D'
- Phénomène : 'Thermique'

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

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

4 Modélisation B

4.1 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

Le modèle d'interface entre le solide et le fluide a les caractéristiques suivantes :
- Modélisation : '3D'
- Phénomène : 'Mécanique'

4.2 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

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

5 Modélisation C

5.1 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

Le modèle d'interface entre le solide et le fluide a les caractéristiques suivantes :
- Formulation : 'U-P'
- Modélisation : 'FLUI_STRU'
- Phénomène : 'Mécanique'

5.2 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

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

6 Synthèse des résultats

L'outil de calcul de l'acceptance dans le cas d'une turbulence homogène sur un cylindre a été validé pour tous les modèles d'interface testés.

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