SDLS105 - Plaque plane soumise à une turbulence homogène

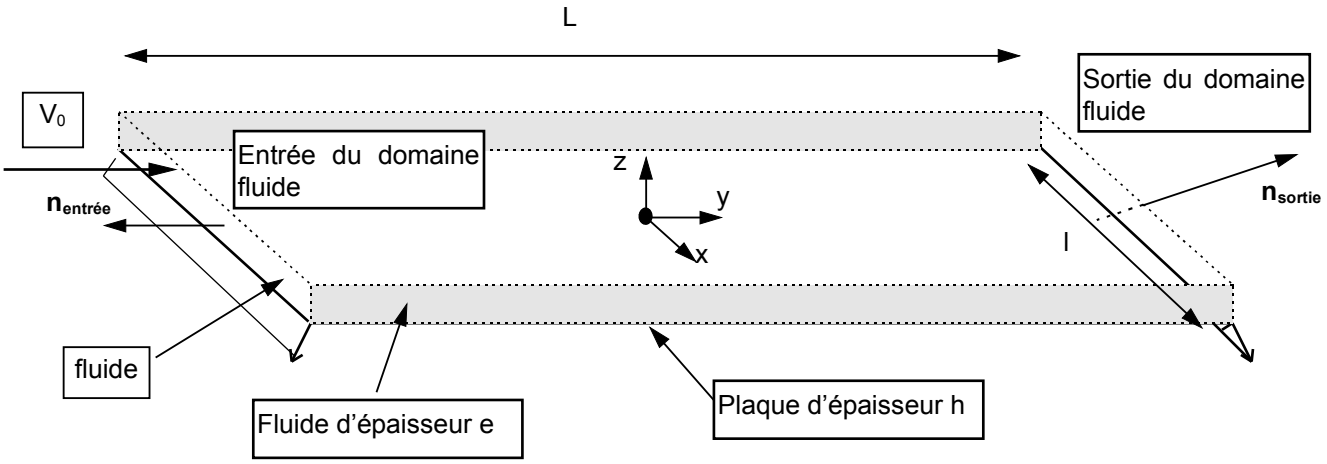
Résumé

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 plaque avec des éléments de couplage fluide / structure pour tester la méthode de Corcos dont la fonction de corrélation est appropriée à des écoulements plans turbulents établis.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



$L=50\,m$

$l=5\,m$

épaisseur de fluide $e=0.5\,m$

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 (par analogie avec l'analyse thermique, on impose un flux de chaleur normal équivalent de -4),
- pour calculer la perturbation fluide apportée par le mouvement de la plaque 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 imposé correspondant à un premier mode de flexion [bib2] :

$$X_1=\sin\frac{py}{L}$$

Copyright 2015 EDF R&D - 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 renvoie au cas test FDLV109.

On a fait un calcul d'amortissement ajouté à la vitesse d'écoulement ($V_0 = 4\, m.s^{-1}$).

La masse ajoutée apportée par l'écoulement vaut :

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

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

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

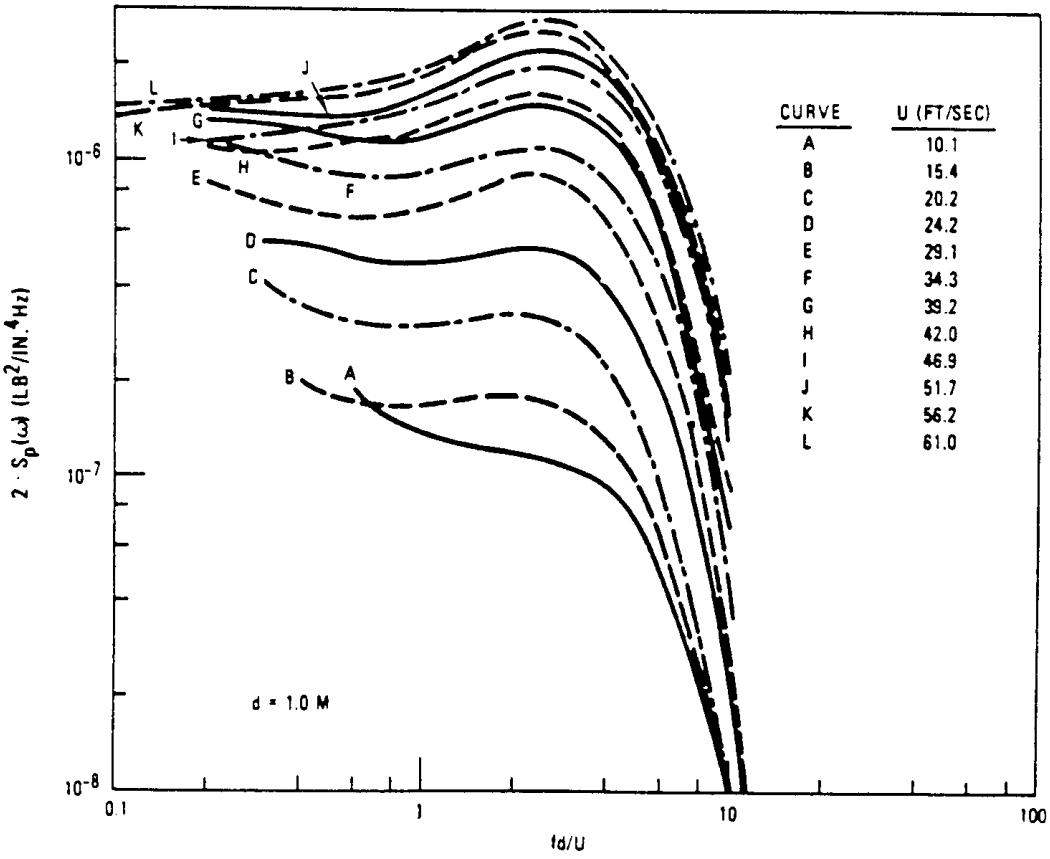
La raideur ajoutée vaut avec $V_0 = 4\, m.s^{-1}$:

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

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.

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

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)



On a pour DSP de pression :

$$F^{(s)}_{R_p}(w) = K^2(\rho U^2)^2 d^3 \text{ pour } 0{,}1 < \frac{wd}{2\text{pU}} < 10$$

La fonction de cohérence choisie dans le cas de cette plaque soumise à écoulement parallèle, est issue d'un modèle de Corcos :

$$r^{(s)}(x-x', w) = e^{-k_L(x-x')} e^{-k_T(y-y')} \cos(w(x-x')/U_c).$$

Les paramètres k_T et k_L sont appelés paramètres de Bakewell et valent en fonction de la pulsation :

$$k_L = 0.1\frac{w}{U_c} \text{ et } k_T = 0.55\frac{w}{U_c}$$

La fonction acceptance, définie en toute généralité par

$$J^2_{A_0}(w) = \underbrace{\int_A \int_A r(x-x', w) f_{i_\alpha}(x) f_{j_{\alpha'}}(x') n_\alpha(x) n_{\alpha'}(x') \text{dA } dA'}_{\text{acceptance}}$$

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

vaut dans notre cas :

$$J^2_{A_{mn}}(w)=\underbrace{\int_A\int_A e^{-k_T|y-y'|}e^{-k_L|x-x'|}\cos\left(\frac{w(x-x')}{U_c}\right)\sin\left(\frac{k_n x}{L}\right)\sin\left(\frac{k_m x'}{L}\right)\mathrm{dxdy}\,dx'\,dy'}_{\text{acceptance}}$$

$$=\int_{-l/2}^{l/2}\int_{-l/2}^{l/2} e^{-k_T|y-y'|}dydy''\int_0^L\int_0^L e^{-k_L|x-x'|}\cos\left(\frac{w(x-x')}{U_c}\right)\sin\left(\frac{k_n x}{L}\right)\sin\left(\frac{k_m x'}{L}\right)dxdx'.$$

La première intégrale en facteur a une expression analytique et vaut :

$$\int_{-l/2}^{l/2}\int_{-l/2}^{l/2} e^{-k_T|y-y'|}dydy'=\frac{2l}{k_T}-2\left(\frac{1-e^{-k_T l}}{k_T^2}\right).$$

On donne dans le tableau ci après des valeurs de cette intégrale :

$\omega(rad/s)$	$I_T(\omega)$
0.01	24.9121
0.1	24.1414
1.	18.0988
2.	13.8102
10.	4.2803

L'autre facteur est plus complexe à évaluer. On a donc calculé numériquement cette intégrale à l'aide du logiciel Maple V.5 :

$\omega(rad/s)$	$I(\omega)$
0.01	1006.601
0.1	815.3964
1.	14.319
2.	6.5836
10.	1.288

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	7.28848E8
1.	7.53237E6

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

Copyright 2015 EDF R&D - 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 Fonctionnalités testées

Commandes

DEFI_SPECT_TURB	SPEC_CORR_CONV_1	METHODE	'CORCOS'
PROJ_SPEC_BASE	MODE_MECA	MODELE_INTERFACE	

3.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	fréquence	Référence	*Aster*	% différence
$SF1F1(\omega)\omega=1$	1.59155e-01	7.53237e+06	7.59109e+06	0.780
$SF1F1(\omega)\omega=0.01$	1.59155e-03	7.28848e+08	7.28121e+08	0.100

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Par rapport à la modélisation A, on ne modifie que les valeurs des masses volumiques, qui sont multipliées par 30 :

- Fluide : $\rho = 30000\, kg.m^{-3}$ (eau),
- Structure : $\rho_s = 23400\, kg/m^3$ (acier).

On procède ainsi de manière à diminuer la fréquence de coupure du problème.

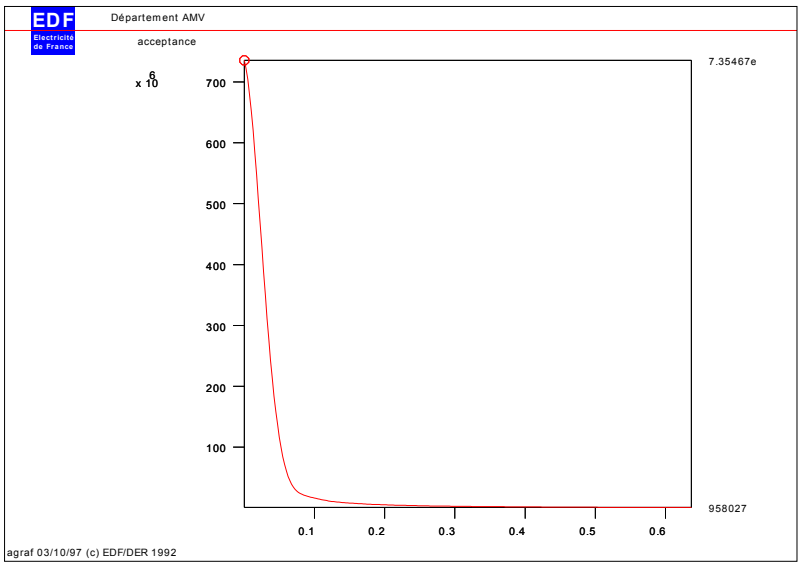
4.2 Grandeurs testées et résultats

Il s'agit de tester la réponse spectrale de la structure à l'excitation turbulente précédemment définie dans la modélisation A mais calculée pour 128 points de fréquence. On teste pour différentes fréquences la valeur de la réponse spectrale au noeud 2 de la planche qui se trouve à $13.75\, m$ du centre de la planche.

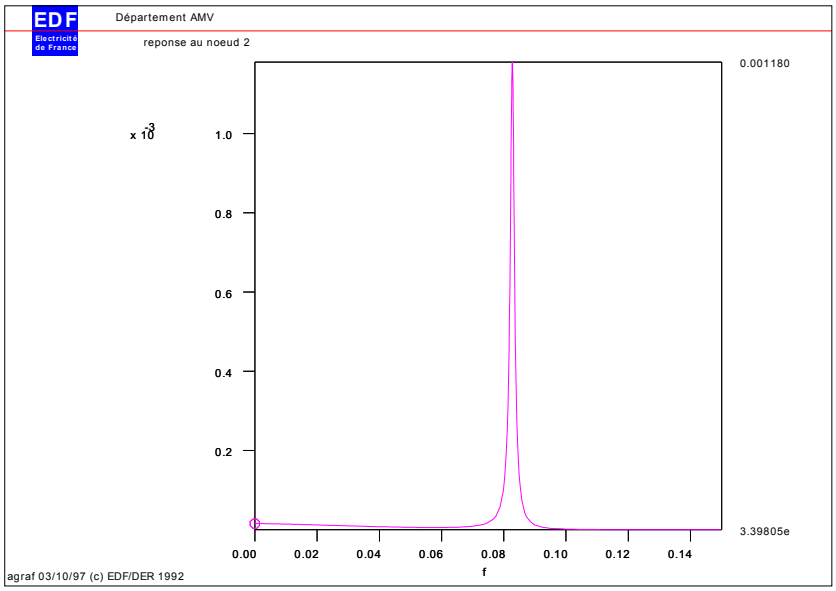
La réponse théorique a été évaluée avec le logiciel MAPLE version 5.

Identification	fréquence (Hz)	Référence	*Aster*	% différence
$S_U(\omega)\, f = 0.025$	2.50000e-02	1.09850e-05	1.09799e-05	0.046
$S_U(\omega)\, f = 0.05$	5.00000e-02	6.09100e-06	6.09255e-06	0.025
$S_U(\omega)\, f = 0.08275$	8.27500e-02	1.17770e-03	1.18010e-03	0.204

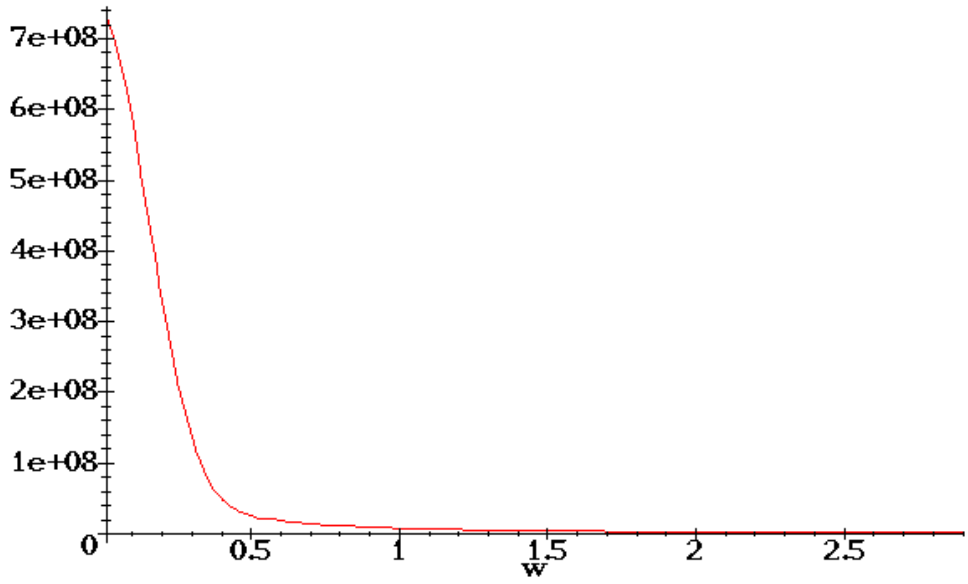
Les courbes d'acceptance et de réponse données par *Code_Aster* sont donnés ci-dessous :



Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)



La courbe d'acceptance donnée par le logiciel Maple V est représentée ci-dessous :



Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Synthèse des résultats

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

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)