SDLS103 - Coques coaxiales sous écoulement annulaire : couplage inertiel entre modes

Résumé

On considère une configuration matérielle constituée de deux coques cylindriques coaxiales, en interaction avec un fluide s'écoulant dans l'espace annulaire séparant les coques.

Le but du cas-test est de valider le modèle de couplage fluide-structure développé dans l'opérateur CALC_FLUI_STRU pour ce type de configuration.

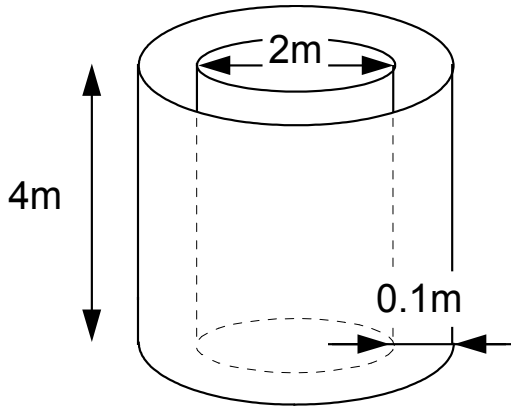
On s'intéresse ici plus particulièrement à la prise en compte du couplage inertiel entre modes, obtenu en eau au repos (vitesse moyenne d'écoulement nulle). La solution de référence est fournie par un calcul réalisé avec *Code_Aster* mettant en œuvre l'opérateur CALC_MATR_AJOU.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

La configuration étudiée est constituée de deux coques cylindriques coaxiales de 4 mètres de hauteur :



La coque interne a un rayon moyen de $1\,m$ et une épaisseur de $1\,cm$.

La coque externe a un rayon moyen de $1{,}10\,m$ et une épaisseur de $1\,cm$.

1.2 Propriétés du matériau

Le matériau constituant les deux coques est de l'acier. Ses caractéristiques physiques sont :

$$\rho = 7800\,kg/m^3 \qquad E = 2.10^{11}\,Pa \qquad \nu = 0{,}3$$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Les conditions de supportage sont les mêmes pour les deux coques : extrémités encastrées en partie inférieure ($z=0$) et libres en partie supérieure ($z=4\,m$).

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 solution de référence est fournie par un calcul réalisé au moyen de *Code_Aster* mettant en oeuvre l'opérateur CALC_MATR_AJOU.

Pour ce faire, on utilise un maillage sur lequel sont définis les éléments de la structure (coques interne et externe), les éléments de fluide volumiques (espace annulaire) et les éléments d'interface fluide-structure. Cette méthode est décrite complètement dans [bib1].
Sur les éléments d'interface, la condition limite de vitesse normale nulle est imposée, traduisant la condition de non pénétration du fluide dans les coques.
Sur les sections d'entrée et de sortie de l'espace annulaire, la condition limite de potentiel nul est imposée, traduisant la condition de pression perturbée nulle aux extrémités.

On réalise un premier calcul modal de la structure en air. L'opérateur CALC_MATR_AJOU permet ensuite de calculer la matrice de masse ajoutée par le fluide, projetée sur la base modale de la structure en air. On peut alors recombiner cette matrice de masse ajoutée avec la matrice de masse généralisée de la structure en air, puis résoudre un nouveau problème modal qui conduit aux caractéristiques du système en eau au repos. **Les résultats obtenus pour les fréquences propres du système en eau au repos constituent la solution de référence.**

Caractéristiques du maillage :

17 nœuds sur une génératrice verticale

60 nœuds sur une couronne

960 mailles QUAD4 sur chaque coque
=> 1920 mailles pour l'interface fluide-structure

2880 mailles HEXA8 pour le domaine fluide
180 mailles QUAD4 pour la section d'entrée de l'espace annulaire
180 mailles QUAD4 pour la section de sortie de l'espace annulaire

2.2 Résultats de référence

N° du mode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fréq. (Hz)	5,65	5,65	6,48	6,48	9,34	9,34	20,82	20,82	28,22	28,22	31,48	31,48

2.3 Incertitude sur la solution

Dans le cas étudié, les demi-épaisseurs de coque représentent 10 % de la dimension du jeu annulaire. Dans le calcul de référence réalisé par l'opérateur CALC_MATR_AJOU, les demi-épaisseurs sont négligées pour la définition du domaine fluide. On attend donc une erreur systématique de l'ordre de 5 % sur les fréquences, du fait de cette approximation.
En outre, les différences de modélisation et de résolution entre la méthode numérique mise en œuvre dans l'opérateur CALC_MATR_AJOU et le modèle analytique développé dans l'opérateur CALC_FLUI_STRU induisent un écart supplémentaire.

2.4 Références bibliographiques

1. G. ROUSSEAU : "Cahier des charges et principe de réalisation du calcul de raideur et d'amortissement ajoutés dans *Code_Aster*", HP-51/96/005/B.

2. L. PEROTIN, "Note de principe du modèle MOCCA_COQUE", HT-32/95/021/A.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La géométrie des structures et les caractéristiques du matériau constituant les coques ont été présentées auparavant.

Concernant la rugosité absolue de paroi des structures, on prend une valeur de 10^{-5} mètre.

Le fluide environnant est de l'eau. Les valeurs prises pour la masse volumique et la viscosité cinématique sont respectivement

$$\rho_f = 1000\, kg/m^3 \qquad \nu_f = 10^{-6}\, m^2/s$$

On considère l'écoulement non confiné en amont et en aval des structures.

Le problème de couplage fluide-structure est résolu par le modèle analytique MOCCA_COQUE [bib2] intégré dans *Code_Aster* (opérateur CALC_FLUI_STRU), pour une vitesse moyenne d'écoulement nulle : on obtient ainsi les caractéristiques modales du système en eau au repos, par prise en compte des effets de masse ajoutée.

3.2 Caractéristiques du maillage

Par rapport au calcul de référence, les caractéristiques du maillage sont semblables, à la différence près que le domaine fluide n'est plus représenté. Afin de rendre les deux coques solidaires l'une de l'autre, on rajoute un groupe de mailles connectant les nœuds au niveau de l'encastrement.

On a : 17 nœuds sur une génératrice verticale,
60 nœuds sur une couronne,

960 mailles QUAD4 sur chaque coque,
60 mailles QUAD4 pour solidariser les deux coques (base encastrée).

3.3 Étapes de calcul

La définition des caractéristiques d'une configuration matérielle constituée de deux coques cylindriques coaxiales pour un calcul de couplage fluide-structure est donnée par l'intermédiaire de l'opérateur DEFI_FLUI_STRU mot-clé facteur COQUE_COAX.

La résolution du couplage fluide-structure pour une configuration du type "coques coaxiales" et le calcul des paramètres modaux (fréquences et amortissements réduits) et déformées modales en eau au repos sont réalisés avec l'opérateur CALC_FLUI_STRU.

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

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

Les comparaisons portent sur les fréquences en eau au repos des 12 premiers modes du système.

Numéros des modes	CALC_FLUI_STRU ($H=9\text{cm}$)	CALC_MATR_AJOU ($H=10\text{cm}$)	écart
1 et 2	5,30 Hz	5,65 Hz	6,2 %
3 et 4	6,12 Hz	6,48 Hz	5,5 %
5 et 6	8,69 Hz	9,34 Hz	6,9 %
7 et 8	21,96 Hz	20,82 Hz	–5,5 %
9 et 10	29,34 Hz	28,22 Hz	–3,9 %
11 et 12	33,75 Hz	31,48 Hz	–7,2 %

On donne, pour information, les valeurs des fréquences de ces modes en air :

Numéros des modes	Coque en mouvement	Ordre de coque	Ordre de poutre	Fréquence
1 et 2	externe	3	1	25,15 Hz
3 et 4	interne	3	1	26,12 Hz
5 et 6	externe	4	1	31,91 Hz
7 et 8	interne	2	1	36,85 Hz
9 et 10	interne	4	1	37,42 Hz
11 et 12	externe	2	1	39,49 Hz

4.2 Remarques

Les résultats sont conformes à ce que l'on pouvait attendre. On observe en effet :

- une erreur systématique de l'ordre de 5 %, du fait de la non prise en compte des épaisseurs de coque pour la définition du domaine fluide dans le calcul de référence ;
- un écart résiduel dû aux différences de modélisation et de résolution entre les deux opérateurs CALC_MATR_AJOU et CALC_FLUI_STRU.

Les modes 1 à 6 sont des modes pour lesquels la structure est fortement couplée avec le fluide. En pratique, ces modes correspondent à des mouvements des coques interne et externe globalement en opposition de phase. Pour ces modes, les termes de masse ajoutée sont théoriquement proportionnels à $\frac{\rho_f \pi R^3}{H}$, où R désigne le rayon moyen et H l'épaisseur de l'espace annulaire.

Pour ces six premiers modes, les résultats fournis par CALC_FLUI_STRU conduisent à des fréquences propres plus basses que celles calculées par CALC_MATR_AJOU. En effet, H étant plus faible, les termes de masse ajoutée sont plus grands.

Les modes 7 à 12 sont des modes pour lesquels la structure est faiblement couplée avec le fluide. En pratique, ces modes correspondent à des mouvements des coques interne et externe quasiment en phase. Ainsi, les termes de masse ajoutée sont théoriquement proportionnels à la masse d'eau entraînée, c'est-à-dire à $\rho_f \pi R H$.

Dans ce cas, il est normal que les résultats fournis par CALC_FLUI_STRU conduisent à des fréquences propres plus élevées que celles calculées par CALC_MATR_AJOU. En effet, H étant plus faible, les termes de masse ajoutée sont plus petits.

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

5 Synthèse des résultats

La comparaison des fréquences en eau au repos calculées avec les opérateurs CALC_FLUI_STRU et CALC_MATR_AJOU est satisfaisante. Les écarts rencontrés entre ces deux opérateurs s'expliquent par le fait qu'ils utilisent une modélisation différente.

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