# FDLV115 - Réponse harmonique d'un anneau visco-élastique en couplage fluide-structure pour la réduction de modèle

**Résumé :**

L'objectif de ce test est de vérifier de manière élémentaire l'opérateur de réduction de modèle DEFI_BASE_REDUITE sur un cas d'IFS avec un matériau viscoélastique.



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

# 1 Problème de référence

## 1.1 Géométrie

On considère un anneau métallique plan plongé dans un milieu fluide avec une frontière extérieure pour ce dernier (figure 1.1-1).

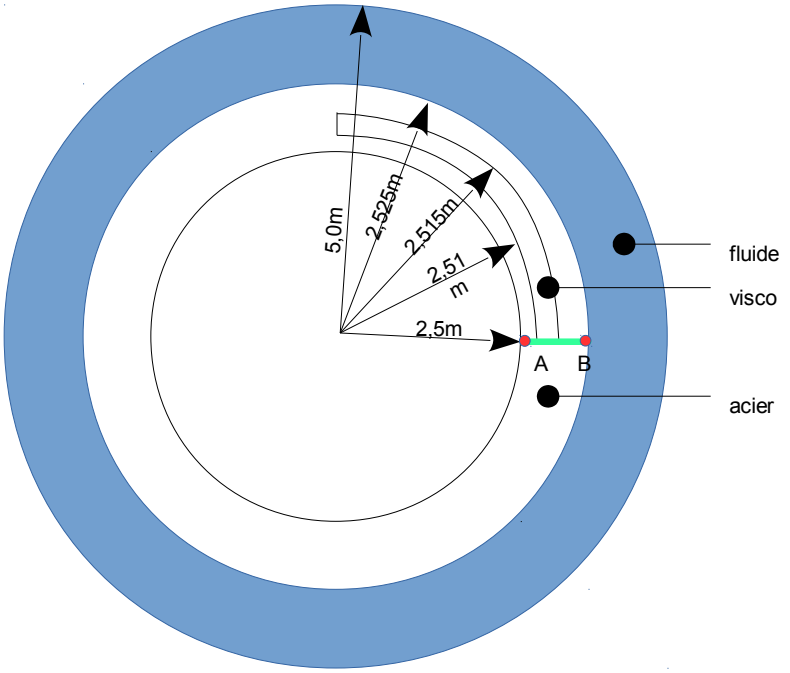



**Figure 1.1-1: Géométrie (pas à l'échelle)**

Dans l'anneau métallique, une couche visco-élastique est modélisée sur un quart de la circonférence.

## 1.2 Propriétés du matériau

Pour la partie en acier, on considère un matériau élastique isotrope :

- Module d'élasticité : $E_a = 177\,GPa$
- Coefficient de Poisson : $\nu_a = 0.3$
- Masse volumique : $\rho_a = 7450\,kg.m^{-3}$

Pour le fluide, c'est de l'eau avec les caractéristiques suivantes :

- Célérité du son : $c = 1500\,m.s^{-1}$
- Masse volumique : $\rho_e = 1000\,kg.m^{-3}$

Pour la partie visco-élastique, on considère un matériau de type modèle de la dérivée fractionnaire (modèle de Zener) dont le module de cisaillement dépend de la pulsation :

$$G^*(\omega) = \frac{G_0 + G_\infty (i\omega\tau)^\alpha}{1 + (i\omega\tau)^\alpha} \qquad (1)$$

Les caractéristiques sont les suivantes :

- Coefficient de Poisson : $\nu_v = 0.49$ (matériau quasi-incompressible)
- Masse volumique : $\rho_v = 1460\,kg.m^{-3}$
- Coefficients : $G_0 = 2{,}11\,MPa$ , $G_\infty = 0{,}59\,GPa$ , $\tau = 0{,}44 \times 10^{-6}$ et $\alpha = 0{,}53$



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

Remarque : pour améliorer le calcul des modes, on procède à l'a-dimensionnement de toutes ces quantités par rapport à l'eau.

## 1.3 Conditions aux limites et chargements

Pour la partie structure, on impose une condition de d'encastrement sur le segment $AB$ et une force nodale horizontale $Fx=A,0\times10^{-5}N$ sur le point $A$ .
Une condition d'interaction fluide-frontière est réalisée par l'utilisation d'éléments `2D_FLUI_STRU` à l'interface entre la structure et le fluide. Par ailleurs, une condition d'impédance est définie sur la frontière extérieure du fluide, par un chargement de type `IMPE` et le calcul des matrices d'impédance qui y sont liées.



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

# 2 Solution de référence

## 2.1 Méthode de calcul

On calcule les modes empiriques. On teste les modes par des valeurs ponctuelles de non-régression sur différents points et différentes ddl.

## 2.2 Grandeurs et résultats de référence

On cherche à résoudre le système suivant :

$$\left(-i\omega^3 \boldsymbol{I}(\mu)-\omega^2(\mu)\boldsymbol{M}(\mu)+\boldsymbol{K}(\mu)\right)\boldsymbol{u}(\mu)=\boldsymbol{F}(\mu) \tag{2}$$

Le coefficient $\mu$ représente les paramètres de variation, $\boldsymbol{I}$ la matrice d'impédance, $\boldsymbol{M}$ la matrice de masse, $\boldsymbol{K}$ la matrice de rigidité et $\boldsymbol{F}$ le second membre (appliquant la force nodale). Les paramètres variables sont les suivants : $\omega$ , $E_a$ , $\rho_a$ et $\rho_v$ .
On écrit le système sous la forme suivante:

$$f_1(\omega,E_a).\boldsymbol{K}_v+f_2(\omega,\rho_a).\boldsymbol{K}_e+\boldsymbol{K}_f+f_3(\omega,\rho_v).\boldsymbol{M}_e-\omega^2\boldsymbol{M}_f-j\omega^3.\boldsymbol{I}=\boldsymbol{F} \tag{3}$$

On a séparé les différentes contribution : $\boldsymbol{K}_v$ pour la rigidité venant de la partie viscoélastique (calculé par RIGI_MECA_HYST), $\boldsymbol{K}_e$ pour la rigidité venant de la partie élastique, $\boldsymbol{K}_f$ pour la rigidité venant de la partie fluide, $\boldsymbol{M}_e$ pour la masse venant de la partie élastique, $\boldsymbol{M}_f$ pour la masse venant de la partie fluide et $\boldsymbol{I}$ la matrice d'impédance.
Et les fonctions :

$$f_1(\omega,E_a)=2\times E_a(1.0+\nu_v)\frac{\frac{G_0+G_\infty(jc\omega\tau)^\alpha}{1+(jc\omega\tau)^\alpha}}{\rho_e c^2}+2jE_a(1.0+\nu_v)\frac{\frac{G_0+G_\infty(jc\omega\tau)^\alpha}{1+(jc\omega\tau)^\alpha}}{\rho_e c^2}\times\frac{\Im\left(\frac{G_0+G_\infty(jc\omega\tau)^\alpha}{1+(jc\omega\tau)^\alpha}\right)}{\Re\left(\frac{G_0+G_\infty(jc\omega\tau)^\alpha}{1+(jc\omega\tau)^\alpha}\right)} \tag{4}$$

$$f_2(\omega,\rho_a)=\frac{\rho_a E_e}{\rho_e c^2} \tag{5}$$

$$f_3(\omega,\rho_v)=\frac{-\omega^2\rho_v\rho_a}{\rho_e} \tag{6}$$

Pour le calcul, on fait varier les quatre paramètres sur dix valeurs (on ne recopie pas ici la valeur de ces paramètres qui ont été tirés au hasard, voir le fichier de commandes)

## 2.3 Incertitudes sur la solution

L'erreur sur la solution dépend du degré de réduction (nombre de modes empiriques).



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

# 3 Modélisation A

## 3.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 2D_FLUIDE, D_PLAN et 2D_FLUI_STRU en dynamique linéaire IFS couplé (formulation $(u,p,\varphi)$ ).
Cette modélisation teste la création des modes empiriques. On calcule trois modes.

## 3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 10654 éléments de type TRIA3.

## 3.3 Grandeurs testées et résultats

On teste quelques valeurs (complexes) de la base :

| Identification | Type de référence |
|---|---|
| $N5$ – DX – Mode 1 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DY – Mode 1 | NON_REGRESSION |
| $N9$ – PRES – Mode 1 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DX – Mode 2 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DY – Mode 2 | NON_REGRESSION |
| $N9$ – PRES – Mode 2 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DX – Mode 3 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DY – Mode 3 | NON_REGRESSION |
| $N9$ – PRES – Mode 3 | NON_REGRESSION |

## 3.4 Remarques

On ne peut rien dire dans l'absolu sur la précision de ces valeurs car on teste des valeurs de non-régression. C'est un test purement informatique.



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

# 4 Modélisation B

## 4.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 2D_FLUIDE, D_PLAN et 2D_FLUI_STRU en dynamique linéaire IFS couplé (formulation $(u,p,\varphi)$ ).
Cette modélisation teste la création des modes empiriques en activant la stabilisation (TYPE_BASE='IFS_STAB'). On calcule trois modes mais ça en crée neuf.

## 4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 10654 éléments de type TRIA3.

## 4.3 Grandeurs testées et résultats

On teste quelques valeurs (complexes) de la base :

| Identification | Type de référence |
|---|---|
| $N5$ – DX – Mode 1 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DY – Mode 1 | NON_REGRESSION |
| $N9$ – PRES – Mode 2 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DX – Mode 4 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DY – Mode 4 | NON_REGRESSION |
| $N9$ – PRES – Mode 5 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DX – Mode 7 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DY – Mode 7 | NON_REGRESSION |
| $N9$ – PRES – Mode 8 | NON_REGRESSION |

## 4.4 Remarques

On ne peut rien dire dans l'absolu sur la précision de ces valeurs car on teste des valeurs de non-régression. C'est un test purement informatique.



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

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

# 5 Modélisation C

## 5.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 2D_FLUIDE, D_PLAN et 2D_FLUI_STRU en dynamique linéaire IFS couplé (formulation $(u,p,\varphi)$ ).
Cette modélisation teste la création des modes empiriques en activant la ré-orthogonalisation (ORTHO_BASE = 'OUI').

## 5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 10654 éléments de type TRIA3.

## 5.3 Grandeurs testées et résultats

On teste quelques valeurs (complexes) de la base :

| Identification | Type de référence |
|---|---|
| $N5$ – DX – Mode 1 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DY – Mode 1 | NON_REGRESSION |
| $N9$ – PRES – Mode 1 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DX – Mode 2 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DY – Mode 2 | NON_REGRESSION |
| $N9$ – PRES – Mode 2 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DX – Mode 3 | NON_REGRESSION |
| $N5$ – DY – Mode 3 | NON_REGRESSION |
| $N9$ – PRES – Mode 3 | NON_REGRESSION |

## 5.4 Remarques

On ne peut rien dire dans l'absolu sur la précision de ces valeurs car on teste des valeurs de non-régression. C'est un test purement informatique.



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