SDNL141 – Poutre immergée oscillante soumise à un champ de vague

Résumé :
Ce test modélise la réponse d'une poutre oscillante immergée, soumises aux efforts hydrauliques de Morison (efforts de traînée et d'inertie) dans un fluide au repos ou en présence d'un champ de vagues régulières.

La solution de référence est issue d'une comparaison avec le code EDF-R&D CALHYPSO.
Les modélisations proposées sont les suivantes :

- Modélisation A : Dans cette modélisation, on teste le calcul des efforts de traînée pour une poutre oscillante dans un fluide au repos.
- Modélisation B : Dans cette modélisation, on teste le calcul des efforts de traînée ainsi que la prise en compte de la masse ajoutée pour une poutre oscillante dans un fluide au repos.
- Modélisation C : Dans cette modélisation, on teste le calcul des efforts de traînée et d'inertie pour une poutre oscillante dans un champ de vagues régulières.

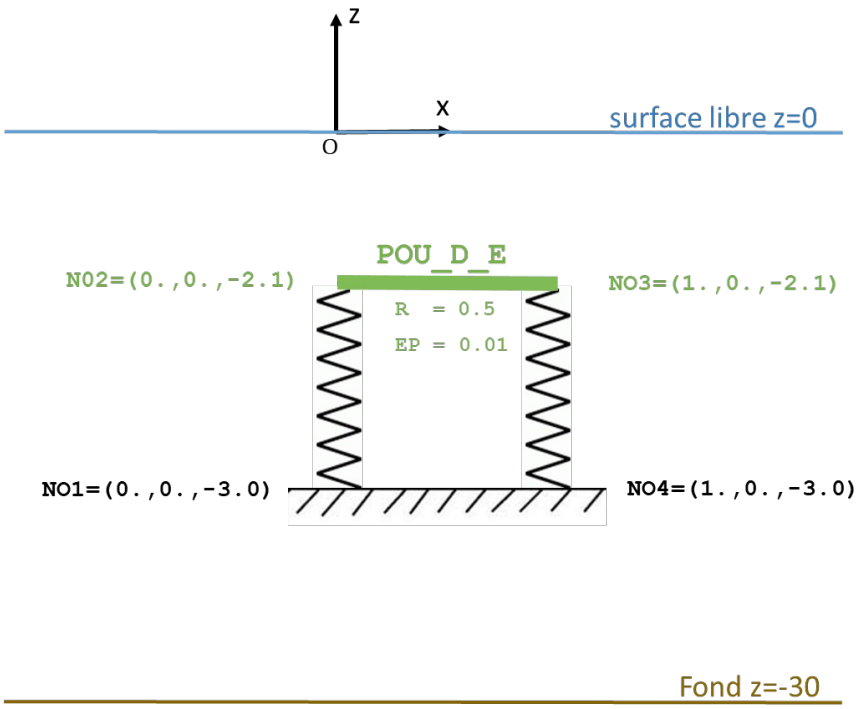
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie et conditions aux limites

La figure ci-dessous représente le problème de référence : une poutre cylindrique creuse de longueur $L=1\,m$, de rayon extérieur $R=0.5\,m$ et d'épaisseur $ep=0.01\,m$. Celle-ci est immergée à $2.1\,m$ sous la surface libre dans une colonne d'eau de hauteur $h=30\,m$. Les extrémités de la poutre s'appuient sur deux ressorts identiques, eux-mêmes encastrés à leurs extrémités.

On note $S_w=\pi R^2$ la section hydraulique (vue par le fluide) transverse à la poutre et $S=\pi\left(2.R.ep-ep^2\right)$ la section transverse réelle.



1.2 Propriétés de matériaux

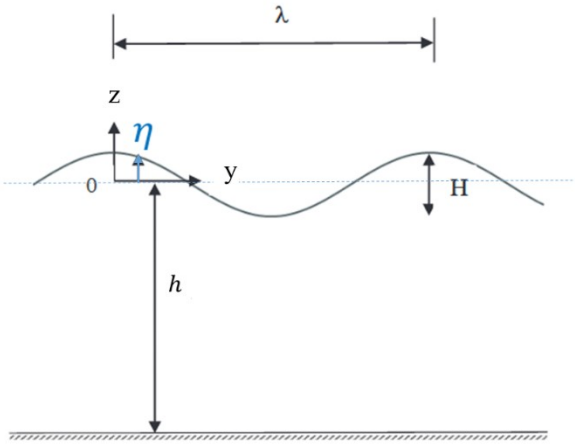
Le matériau a un comportement élastique isotrope :

Module d'Young	$200\,GPa$
Coefficient de Poisson	$0,3$
Masse volumique poutre ρ	$7800\,kg/m^3$
Masse volumique eau ρ_w	$1000\,kg/m^3$
Rigidité des ressorts suivant z	$50.0\,N/m$
Coefficient de traînée C_d	1.0
Coefficient de masse ajoutée C_a	0.9

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

1.3 Cinématique de houle

On considère une houle régulière monodirectionnelle dirigée suivant l'axe +y, d'ordre 1 (houle d'Airy), de hauteur H, de période T et de longueur d'onde λ , voir schéma ci-dessous.



La surface libre η en fonction de l'espace y et du temps t s'exprime :

$$\eta(y,t)=\frac{H}{2}\cos(k\,y-\omega\,t) \tag{1}$$

avec $k=\frac{2\pi}{\lambda}$ le nombre d'onde et $\omega=\frac{2\pi}{T}$ la pulsation.

La vitesse du fluide $V_w=(u,v,w)$ est la suivante :

$$\begin{aligned} u(y,z,t)&=0\\ v(y,z,t)&=\frac{H}{2}\omega\frac{\sinh(k(h+z))}{\sinh(kh)}\sin(k.y-\omega t)\\ w(y,z,t)&=\frac{H}{2}\omega\frac{\sinh(k(h+z))}{\sinh(kh)}\sin(k.y-\omega t) \end{aligned} \tag{2}$$

L'accélération du fluide est notée $a_w=\frac{\partial v_w}{\partial t}$.

1.4 Chargements

La position d'équilibre initiale du problème consiste, en partant de la position de référence décrite en Géométrie, à appliquer un déplacement de translation de la poutre de $1\,m$ dans la direction +z. Ce déplacement imposé est ensuite relâché conduisant la poutre à adopter un mouvement oscillatoire dynamique.
Notons que le poids et la poussée d'Archimède ne sont pas pris en compte dans ce problème.

Modélisation A
La poutre oscillante est soumise aux efforts de Morison (terme de traînée uniquement) dans un fluide au repos.

$$F_{\text{mor}}=\frac{1}{2}C_d\,\rho_w\,S_w\,(v_w^{\text{ortho}}-v_s^{\text{ortho}})(v_w^{\text{ortho}}-v_s^{\text{ortho}}) \tag{3}$$

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

où v_w et v_s désignent respectivement la vitesse fluide (nulle ici) et la vitesse solide (paramètre d'entrée du chargement mécanique FORCE_POUTRE . Le symbole ortho représente la projection dans la direction normale à la fibre neutre de la poutre [1] . On note que ce sont des efforts linéiques que l'on applique de façon répartie sur la poutre.

Modélisation B
La poutre oscillante est soumise aux efforts de Morison (terme de traînée et termes d'inertie) dans un fluide au repos

$$F_{\mathrm{mor}}=\frac{1}{2}C_d\rho_w S_w\left(v_w^{\mathrm{ortho}}-v_s^{\mathrm{ortho}}\right)\left(v_w^{\mathrm{ortho}}-v_s^{\mathrm{ortho}}\right)+\rho_w S_w a_w^{\mathrm{ortho}}+C_a\rho_w S_w\left(a_w^{\mathrm{ortho}}-a_s^{\mathrm{ortho}}\right) \quad (4)$$

Le premier terme (correspondant à la traînée) est identique à la modélisation A, le second et le troisième correspondent aux termes d'inertie. L'accélération du fluide étant nulle, ces derniers se réduisent au terme de masse ajouté solide $-C_a\rho_w S_w a_s^{\mathrm{ortho}}$. Celui-ci est pris en compte dans la matrice de masse du système en modifiant la masse volumique de la poutre :

$$\rho^*=\rho+C_a\rho_w\frac{S_w}{S} \quad (5)$$

Remarque : notons que cette modification de la masse volumique doit s'accompagner d'une modification idoine de la gravité afin de rendre compte correctement du poids de la poutre. On rappelle toutefois que nous ne tenons pas compte de cette force dans notre problème.

Modélisation C
La poutre oscillante est soumise aux efforts de Morison (voir modélisation B) dans un fluide soumis à une houle de hauteur $H=3\,m$ et de période $T=12\,s$. La vitesse et l'accélération fluide sont définis dans Cinématique de houle.

Le terme de masse ajouté solide est pris en compte dans la matrice de masse de la même manière que pour la modélisation B en modifiant la masse volumique de la poutre.

Remarque générale : Les efforts de Morison dépendent de la position de la poutre, ils doivent être mentionnés comme chargements suiveurs dans les calculs.

2 Solution de référence

La solution de référence est basée sur les résultats du code de calcul CALHYPSO (interne EDF R&D) dédié aux interactions entre les vagues et la structure.

[1] Cette projection nécessite de passer également en paramètre d'entrée de FORCE_POUTRE l'orientation de la poutre.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation et maillage

- Poutre : modélisation POU_D_E (une maille SEG2)
- Ressorts : modélisation DIS_TR (deux mailles SEG2)
- Relation de comportement élastique linéaire.

3.2 Grandeurs testées et résultats

On teste la non régression des déplacements du nœud NO2 de la poutre.
On compare les résultats avec le code CALHYPSO.

Identification	Instant (sec)	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance (%)
DZ ('N2')	1.0	'SOURCE_EXTERNE'	*0.8246757638083541*	0.5
DZ ('N2')	2.0	'SOURCE_EXTERNE'	*0.4888139538842588*	0.5

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation et maillage

Idem modélisation A

4.2 Grandeurs testées et résultats

On teste la non régression des déplacements du nœud NO2 de la poutre.
On compare les résultats avec le code CALHYPSO.

Identification	Instant (s)	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance (%)
DZ ('N2')	1.0	'SOURCE_EXTERNE'	*0.9483296224651554*	0.5
DZ ('N2')	2.0	'SOURCE_EXTERNE'	*0.8039064669491974*	0.5

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation et maillage

Idem modélisation A

5.2 Grandeurs testées et résultats

On teste la non régression des déplacements du nœud NO2 de la poutre.
On compare les résultats avec le code CALHYPSO.

Identification	Instant (sec)	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance (%)
DZ ('N2')	1.0	'SOURCE_EXTERNE'	0.6757107359098091	0.5
VZ ('N2')	2.0	'SOURCE_EXTERNE'	−0.12465976610725446	0.5

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

6 Synthèses des résultats

Ce test valide les efforts de Morison appliqués sur une poutre mais également les développements qui permettent de passer la vitesse, l'accélération et la position de la poutre en paramètre d'un chargement de type AFFE_CHAR_MECA_F/FORCE_POUTRE.

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