FDNV100 - Ballottement d'un réservoir d'eau avec paroi déformable élastique

Résumé :

Ce test, du domaine fluide-structure, propose la mise en œuvre d'un calcul dynamique transitoire (opérateur DYNA_NON_LINE) avec prise en compte d'une surface libre. Étant donnée l'absence de valeurs de références adaptées, il s'agit d'un cas-test de non régression.

On valide aussi l'analyse de stabilité (avec le mot-clé **CRIT_STAB**) sur ce problème fluide-structure.

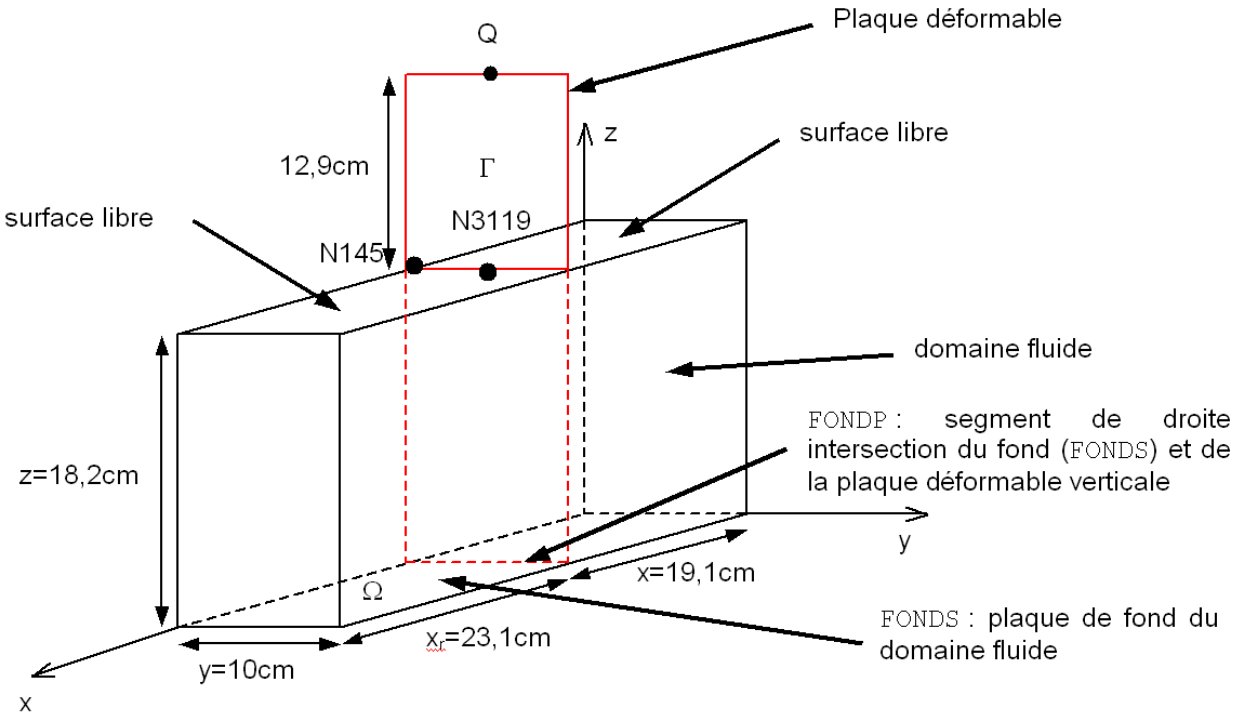
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

Ce cas-test, basé sur le modèle de l'article [bib1], a pour objectif de tester la prise en compte correcte d'une surface libre dans un calcul fluide-structure couplé avec l'opérateur DYNA_NON_LINE.

1.1 Géométrie

On considère un réservoir parallélépipédique, rempli d'eau, dont les parois externes sont indéformables. Ce réservoir rigide comporte une plaque interne déformable, nommée Γ. Elle est encastrée à sa base au fond du réservoir, ses côtés verticaux étant libres. Cette paroi souple dépasse de la surface libre d'une hauteur de $12,9\,cm$:



1.2 Propriétés des matériaux

Le fluide (eau) contenu dans la cuve a pour caractéristiques :

masse volumique : $\rho_f = 1000\,kg/m^3$
célérité du son : $c = 1500\,m/s$

La paroi déformable est élastique linéaire (duralumin) :

masse volumique : $\rho_s = 2787\,kg/m^3$
module d'Young : $E = 62,43\,GPa$
coefficient de Poisson : $\nu = 0,35$

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

1.3 Conditions aux limites et chargement

1.3.1 Conditions de Dirichlet

Le chargement défini ici est du type déplacement imposé sur une surface. Plus précisément, on considère que le fond du réservoir ne peut se déplacer que suivant la direction x.

Suivant cette direction x, on va solliciter le système en imposant au fond du réservoir un déplacement sinusoïdal en temps, de fréquence $1,7704\,Hz$ et d'amplitude $0,001\,m$.

Ce déplacement imposé peut être assimilé à une sollicitation de type mono-appui appliquée par la base du réservoir (application sismique).

1.3.2 Conditions de Neumann

En superposition à la condition surfacique de Dirichlet précédemment définie, on soumet aussi le modèle au champ de gravité (effort volumique imposé).

Enfin, la surface supérieure du domaine fluide se voit caractérisée par une conditions de type surface libre.

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

Les seuls résultats de la littérature [bib1] sont de types modaux : fréquences propres et allures de certains modes.

Etant donné la nécessité de tester l'opérateur DYNA_NON_LINE, et étant donnée la relative complexité du modèle qui est 3D, il n'est pas possible de retrouver les fréquences propres par analyse transitoire en un temps CPU raisonnable. On utilise aussi la recherche linéaire.
Pour information, ce type d'analyse menée avec un chargement aléatoire correspondant à un bruit blanc demande, pour des raisons de convergence probabiliste, un calcul pour un temps physique de chargement de $250\,s$, ce qui correspond à un temps CPU de quelques heures.

Afin d'avoir un temps de calcul de l'ordre de quelques minutes, il est obligatoire de calculer l'évolution sur un temps court (quelques secondes). Ce cadre restrictif ne permet pas de retrouver précisément et de manière compatible avec un post-traitement automatisé les résultats d'analyse modale.
La validation apportée par ce test ne peut donc être que du type non régression de la solution numérique.
Comme les fonctionnalités de calcul couplé fluide-structure font déjà l'objet d'un certain nombre de tests de validation par ailleurs, cette limitation à la non régression pour ce cas-test particulier n'est pas rédhibitoire.

A titre de validation complémentaire, le calcul complet avec signal de $250\,s$ a été effectué. Les spectres aux points d'observations ont bien montré une bonne concordance avec les résultats d'analyse modale de [bib1].

Pour valider l'analyse de stabilité sur ce problème fluide-structure, on va utiliser le mot-clé **CRIT_STAB** de **DYNA_NON_LINE**.

2.2 Résultats de référence

On teste des valeurs de déplacements à différents instants, suivant la direction x, pour deux points du maillage : $N145$ et $N3119$. Ces points sont sur la surface libre, de part et d'autre de la paroi déformable, comme on peut le voir sur le schéma du paragraphe [§1.1].

Quant à la stabilité, comme on ne va pas utiliser la la matrice de raideur géométrique (qui est indisponible pour les éléments DKT utilisés ici), l'analyse ne pourra être que du type recherche de singularités de la matrice de raideur (donc une valeur propre qui tend vers 0).
Le problème étant élastique linéaire, on n'attend, d'une part, pas d'instabilité et d'autre part, on devrait retrouver la valeur propre critique (ou charge critique) que pour le même modèle mais sans le fluide et qui vaut -2,47726. Cette valeur propre sera la même à chaque pas de calcul car le problème reste linéaire.

2.3 Incertitude sur la solution

Solution numérique (calculée avec la version 7.3.6 du code).

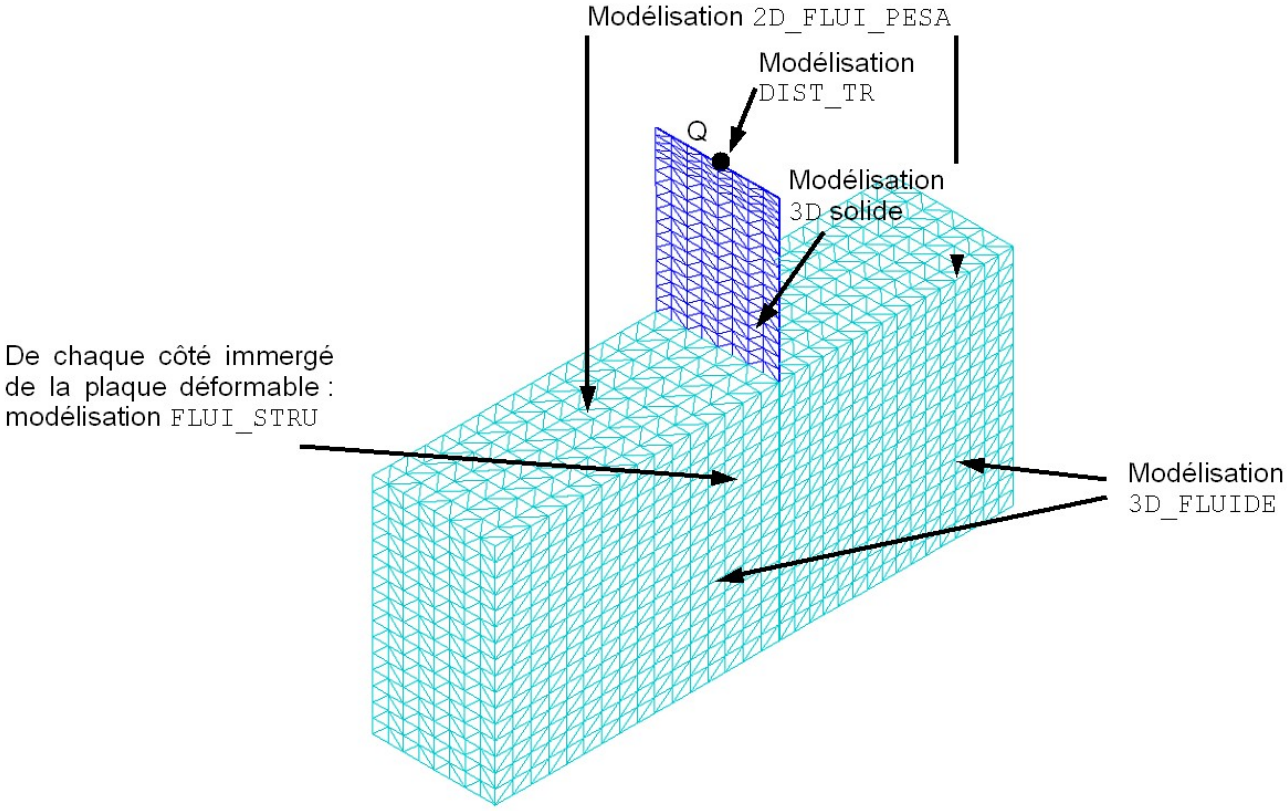
2.4 Référence bibliographique

1) BERMUDEZ A., RODRIGUEZ R., SANTAMARINA D. : "Finite element computation of sloshing modes in containers with elastic baffle plates", Int. J. Numer. Meth. In Engrg., Vol. 56, 447-467, 2003

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation



1) La maillage total comporte 8163 nœuds, soit environ 125000 degrés de liberté,
2) L'élément ponctuel Q (modélisation DIS_TR) permet de représenter simplement un accéléromètre présent dans le modèle de l'article [bib1],
3) La plaque déformable est modélisée par 5120 éléments de solide massif (modélisation 3D) pentaèdriques à 6 nœuds (10 couches dans l'épaisseur pour une bonne approximation du comportement en flexion malgré la linéarité des éléments),
4) la surface libre est modélisée par 512 éléments MEFP_FACE3 (modélisation 2D_FLUI_PESA) triangles à 3 nœuds,
5) le volume fluide est modélisé par 24576 éléments de fluide (modélisation 3D_FLUIDE) tétraèdriques à 4 nœuds.

3.2 Écriture des conditions aux limites

Le fond du réservoir ne peut se déplacer que suivant la direction x :

```
CONDLIM=AFFE_CHAR_MECA(   MODELE=MODELE,
                          DDL_IMPO=(_F(
                          GROUP_NO=('FONDS','FONDP',),
                          DY=0.0, DZ=0.0,),),);
```


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

Suivant cette direction x , on impose au fond du réservoir un déplacement sinusoïdal en temps, de fréquence $1,7704\,Hz$ et d'amplitude $0,001\,m$:

```
FREQ = 1.7704;
LFONC=DEFI_LIST_REEL(DEBUT=0.0, INTERVALLE=_F( JUSQU_A=10.0,
                                                PAS=0.01,),);
FONC = FORMULE(  REEL = '''(REEL:INST) =
                  (0.001)*SIN(2*PI*FREQ*INST)''');
DEPLX=CALC_FONC_INTERP(    FONCTION=FONC,
                            NOM_PARA='INST',
                            LIST_PARA=LFONC,);
CHARG_SE=AFFE_CHAR_MECA_F(MODELE=MODELE,
                     DDL_IMPO=_F(
                     GROUP_NO=('FONDS','FONDP',),DX=DEPLX,),);
```

Le chargement volumique de pesanteur est défini ainsi :

```
PESA=AFFE_CHAR_MECA(    MODELE=MODELE,
                        PESANTEUR=_F(GRAVITE=9.81,
                                     DIRECTION=(0.,0.,-1.,),),);
```

3.3 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient :
24575 TETRA4
5120 PENTA6
4096 TRIA3

3.4 Valeurs testées

Les tests se font sur la valeur du déplacement suivant x (notée DX) pour différents instants et pour les nœuds $N145$ et $N3119$.

Identification	Référence
$DX(N145, t=0,8\,s)$	5.1624169321991e-04
$DX(N145, t=1,4\,s)$	1.4970110314375e-04
$DX(N145, t=2,0\,s)$	- 2.3927413131721e-04
$DX(N3119, t=1,0\,s)$	-9.9736272860105e-04
$DX(N3119, t=1,6\,s)$	- 8.7855056121762e-04
$DX(N3119, t=2,0\,s)$	- 2.3929161952584e-04

On teste aussi la valeur propre critique calculée avec **CRIT_STAB**.

Identification	Référence
CHAR_CRIT	-2.477264942149

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