ADLV100 - Piston couplé à une colonne de fluide

Résumé :

Calcul en couplage fluide acoustique-structure du premier mode d'un système fluide1 - piston fluide 2.

On teste les matrices de rigidité et de masse des éléments de type fluide et de type couplage fluide-structure.

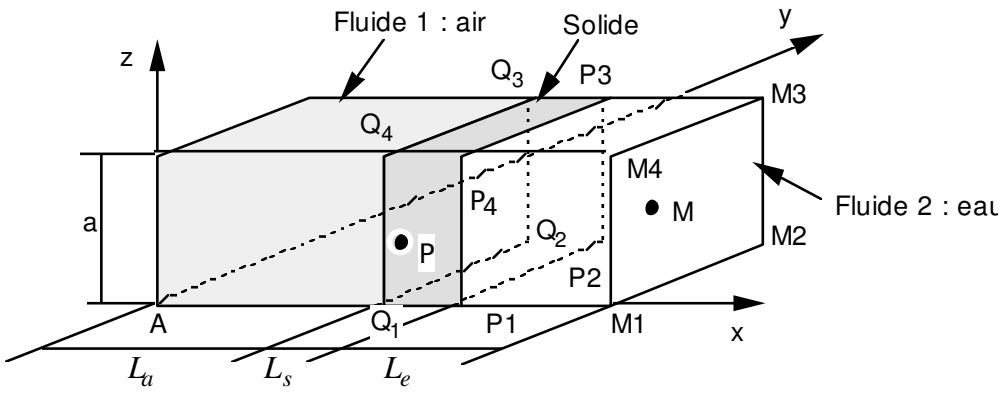
On teste aussi la condition aux limites de type surface libre.

Seize modélisations sont testées.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



$L_a = 0.075$, $L_s = 0.025$, $L_e = 0.05\,m$

section carrée constante, $a = 0.05\,m$

ou section circulaire (dans le cas axisymétrique) constante de rayon $R = a = 0.05\,m$.

1.2 Propriétés des matériaux

solide : $E = 2.10^{11}\,Pa$	$\rho_s = 7800\,kg/m^3$	$\nu = 0.3$
air : $c_a = 340\,m/s$	$\rho_a = 1.2\,kg/m^3$	
eau : $c_e = 1400\,m/s$	$\rho_e = 1000\,kg/m^3$	$c = célérité\ du\ son$

$c =$ célérité du son dans le fluide

1.3 Conditions aux limites et chargement

- Pour tous les points M de la face $(M1\,M2\,M3\,M4)$ la pression et le potentiel de déplacement sont nuls (condition de type surface libre),
- pour les points P du solide, on bloque tous les degrés de liberté sauf la translation en x afin que ce solide se comporte comme un piston selon l'axe x .

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

Aux basses fréquences, les longueurs d'onde acoustique des mouvements envisagés sont grandes par rapport à la dimension caractéristique du volume fluide $(\omega L/c \ll 1)$. Le problème est donc monodimensionnel selon l'axe x.

On montre [bib1] qu'un fluide léger comme l'air agit essentiellement comme une raideur ajoutée tandis qu'un fluide lourd se comporte uniquement comme une masse ajoutée. On peut donc calculer la première fréquence propre du système :

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad \text{avec} \qquad \begin{aligned} k &= k_{air} = \rho_a c_a^2 \frac{S}{L_a} \\ m &= m_s + m_e = \rho_s L_s S + \rho_e L_e S \end{aligned}$$

Soit,

$$\omega = \sqrt{\frac{\rho_a c_a^2}{L_a(\rho_s L_s + \rho_e L_e)}}$$

Remarque :

La première pulsation propre ω du système vérifie bien $(\omega L/c \ll 1)$.

2.2 Références bibliographiques

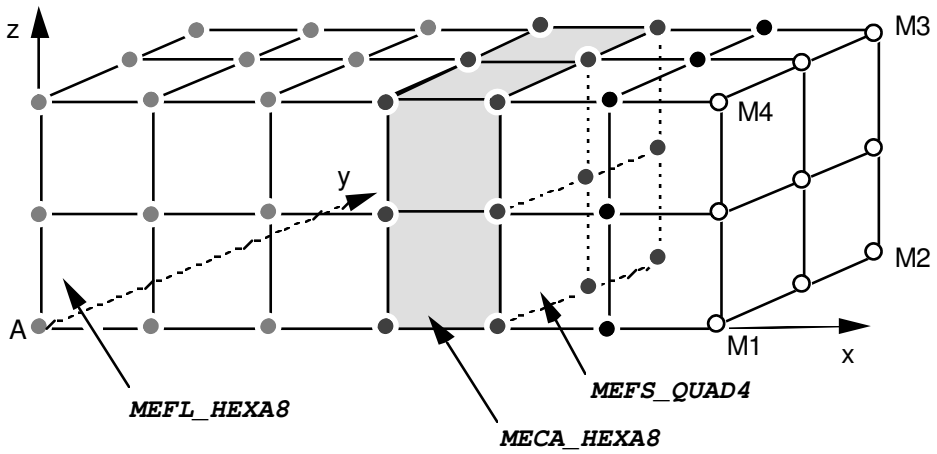
1) GIBERT - Vibrations des Structures . Interactions avec les fluides. Sources d'excitation aléatoires - Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'EDF.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MECA_HEXA8, MEFL_HEXA8, MEFS_QUAD4



Conditions aux limites :

en tous les nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0. DZ:0.)
```

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds :	63
Nombre de mailles et types :	24 HEXA8, 8 QUAD4

3.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	< 0.01

3.4 Remarques

Calculs de modes effectués par :

```
CALC_MODES
              OPTION='AJUSTE',
              CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```


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

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

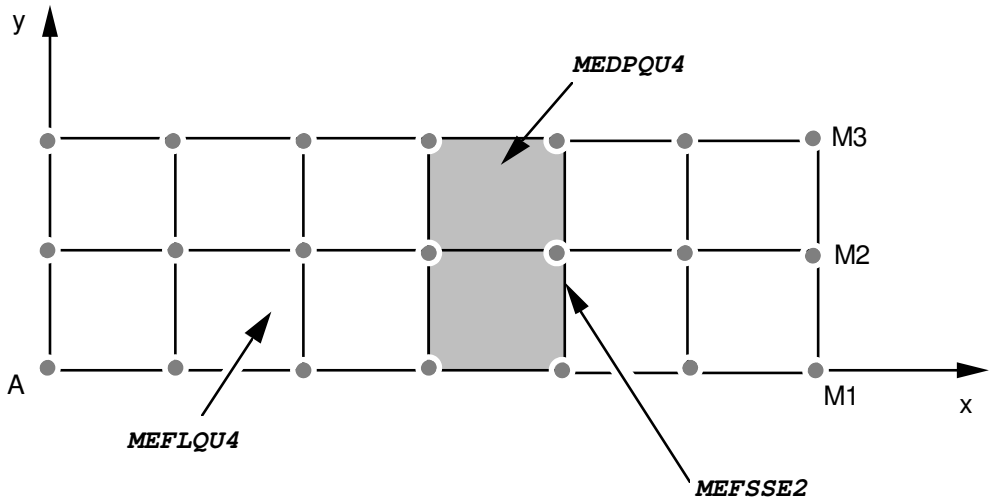
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Éléments MEDPQU4, MEFLQU4, MEFSSE2



Conditions aux limites :

en tous les nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0.)
```

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 21
Nombre de mailles et types : 12 QUAD4, 4 SEG2

4.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	< 0.01

4.4 Remarques

Calculs effectués par :

```
CALC_MODES
              OPTION='AJUSTE',
              CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

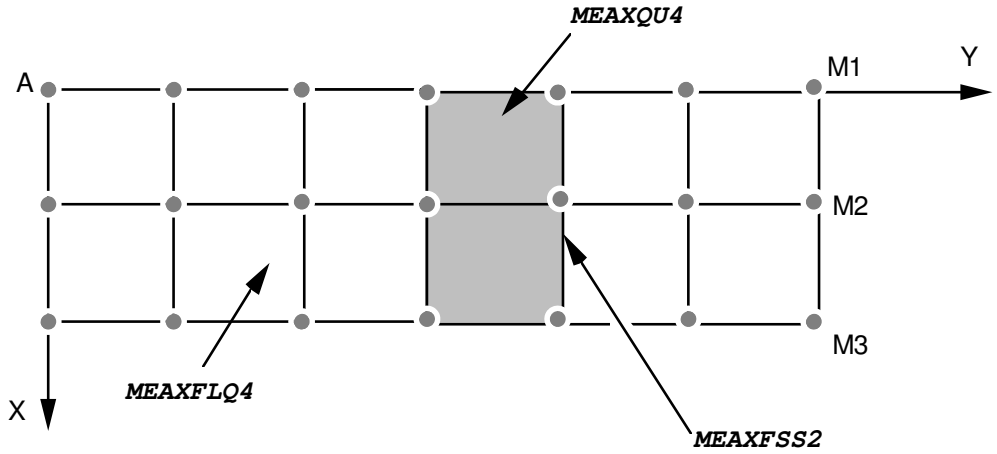
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MEAXQU4, MEAXFLQ4, MEAXFSS2



Conditions aux limites :

en tous les nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0.)
```

Point $M1:N019$, $M2:N020$, $M3:N021$, $A:N01$

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 21
Nombre de mailles et types : 12 QUAD4, 4 SEG2

5.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	< 0.01

5.4 Remarques

Calculs effectués par :

```
CALC_MODES
              OPTION='BANDE',
              CALC_FREQ=_F(FREQ=(5.,100.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

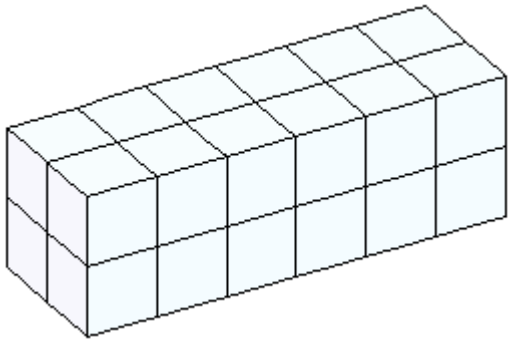
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MECA_HEXA20, MEFL_HEXA20, MESF_QUAD8



Conditions aux limites :
en tous les nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0. DZ:0.)
```

6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 201
Nombre de mailles et types : 24 HEXA20, 8 QUAD8

6.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	-0.006

6.4 Remarques

Calculs de modes effectués par :

```
CALC_MODES
              OPTION='AJUSTE',
              CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

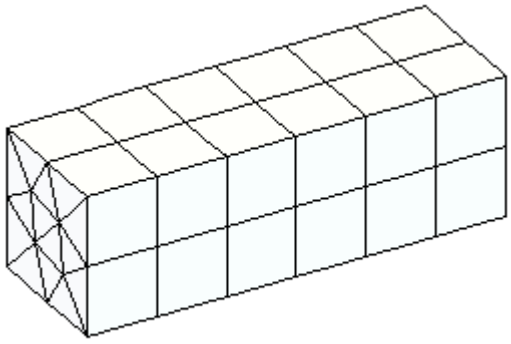
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Éléments MECA_PENTA15, MEFL_PENTA15, MESF_TRIA6



Conditions aux limites :
en tous le nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0. DZ:0.)
```

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 331
Nombre de mailles et types : 84 PENTA15, 28 TRIA6

7.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	-0.006

7.4 Remarques

Calculs de modes effectués par :

```
CALC_MODES
              OPTION='AJUSTE',
              CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

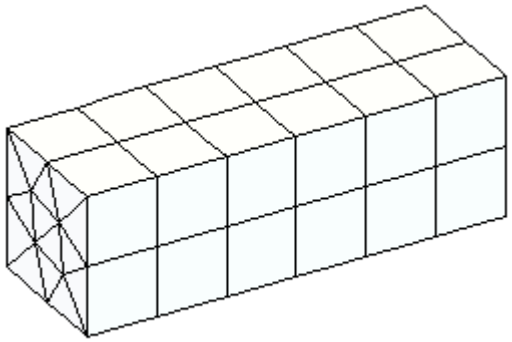
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

8 Modélisation F

8.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MECA_PENTA6, MEFL_PENTA6, MESF_TRIA3



Conditions aux limites :
en tous les nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0. DZ:0.)
```

8.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 84
Nombre de mailles et types : 84 PENTA6, 28 TRIA3

8.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	-0.006

8.4 Remarques

Calculs de modes effectués par :

```
CALC_MODES
              OPTION='AJUSTE',
              CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

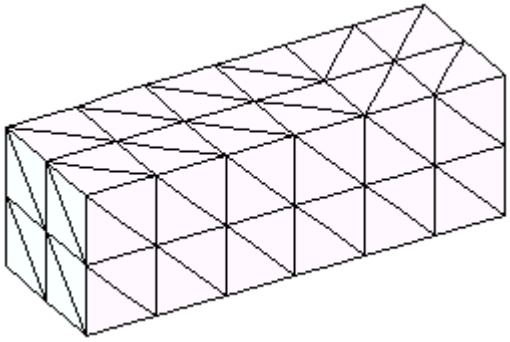
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

9 Modélisation G

9.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MECA_TETRA10, MEFL_TETRA10, MESF_TRIA6



Conditions aux limites :
en tous les nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0. DZ:0.)
```

9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 366
Nombre de mailles et types : 173 TETRA10, 16 TRIA6

9.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	-0.006

9.4 Remarques

Calculs de modes effectués par :

```
CALC_MODES
              OPTION='AJUSTE',
              CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

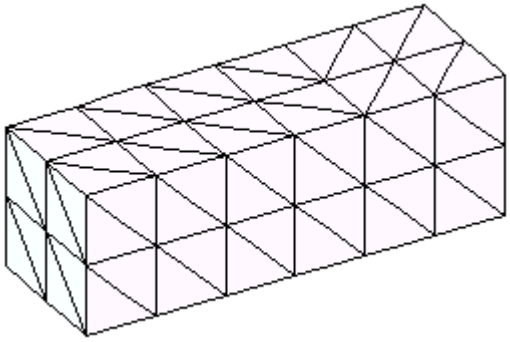
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

10 Modélisation H

10.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MECA_TETRA4, MEFL_TETRA4, MESF_TRIA3



Conditions aux limites :
en tous le nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf   PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist   DY: 0. DZ:0.)
```

10.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 69
Nombre de mailles et types : 173 TETRA4, 16 TRIA3

10.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	-0.006

10.4 Remarques

Calculs de modes effectués par :

```
CALC_MODES
              OPTION='AJUSTE',
              CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

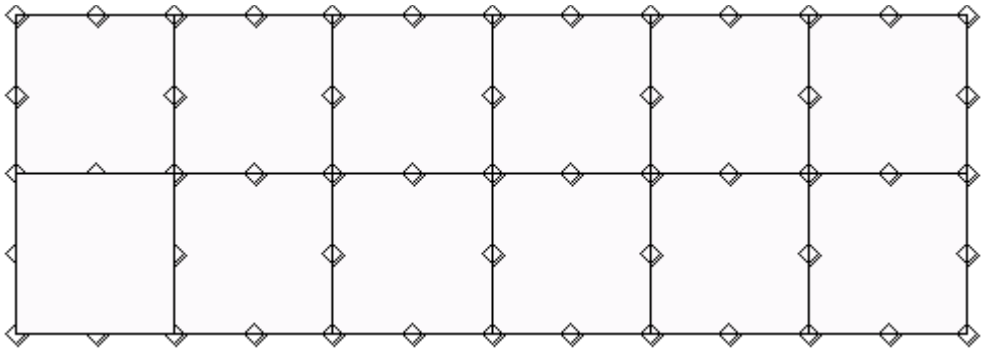
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

11 Modélisation I

11.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MEDPQU8, MEFLQU8, MEFSSE3



Conditions aux limites :
en tous le nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0.)
```

11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 53
Nombre de mailles et types : 12 QUAD8, 4 SEG3

11.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	-0.006

11.4 Remarques

Calculs effectués par :

```
CALC_MODES
                OPTION='AJUSTE',
                CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

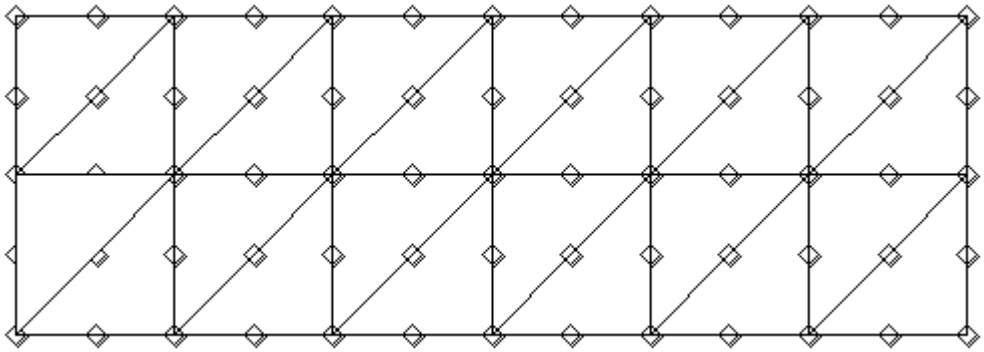
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

12 Modélisation J

12.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MEDPTR6, MEFLTR6, MEFSSE3



Conditions aux limites :
en tous le nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0.)
```

12.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 65
Nombre de mailles et types : 24 TRIA6, 4 SEG3

12.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	-0.006

12.4 Remarques

Calculs effectués par :

```
CALC_MODES
                OPTION='AJUSTE',
                CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

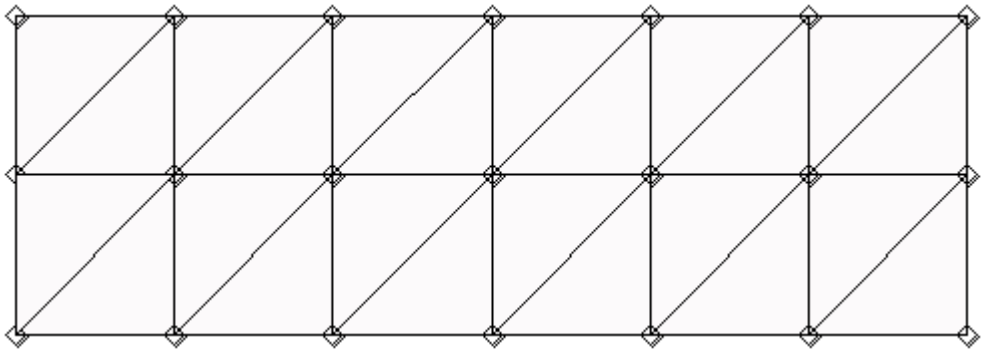
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

13 Modélisation K

13.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MEDPTR3, MEFLT3, MEFSSE2



Conditions aux limites :
en tous le nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0.)
```

13.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 65
Nombre de mailles et types : 24 TRIA3, 4 SEG2

13.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	-0.006

13.4 Remarques

Calculs effectués par :

```
CALC_MODES
                OPTION='AJUSTE',
                CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

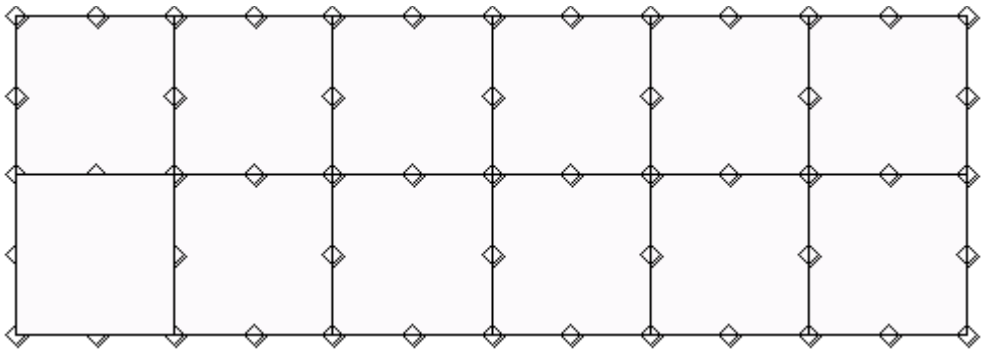
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

14 Modélisation L

14.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MEAXQU8, MEAXFLQU8, MEAXFSSE3



Conditions aux limites :
en tous les nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0.)
```

14.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 53
Nombre de mailles et types : 12 QUAD8, 4 SEG3

14.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	-0.006

14.4 Remarques

Calculs effectués par :

```
CALC_MODES
                OPTION='AJUSTE',
                CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

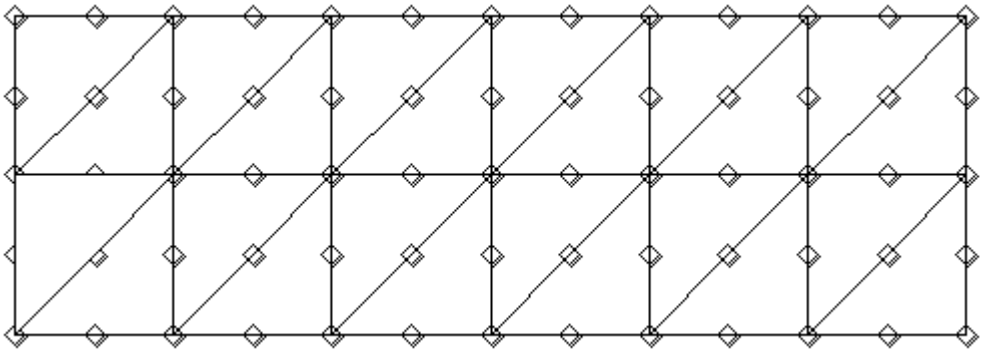
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

15 Modélisation M

15.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MEAXTR6, MEAXFLTR6, MEAXFSSE3



Conditions aux limites :
en tous les nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0.)
```

15.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 65
Nombre de mailles et types : 24 TRIA6, 4 SEG3

15.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	-0.006

15.4 Remarques

Calculs effectués par :

```
CALC_MODES
              OPTION='AJUSTE',
              CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

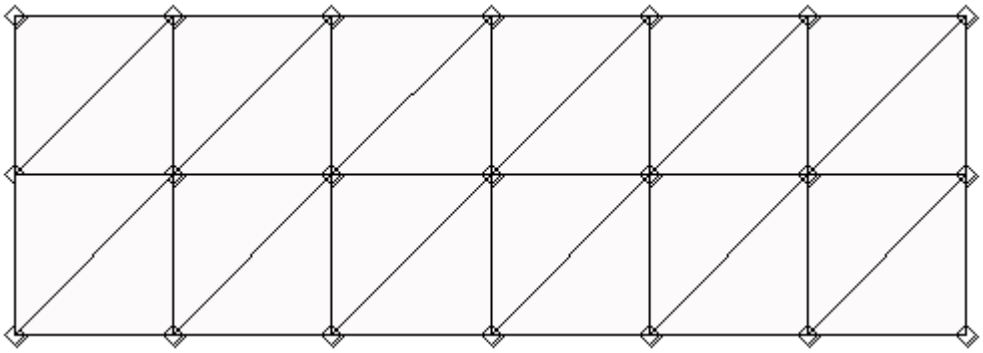
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

16 Modélisation N

16.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MEAXTR3, MEAXFLTR3, MEAXFSSE2



Conditions aux limites :
en tous les nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0.)
```

16.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 21
Nombre de mailles et types : 24 TRIA6, 4 SEG3

16.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	-0.006

16.4 Remarques

Calculs effectués par :

```
CALC_MODES
                OPTION='AJUSTE',
                CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

17 Modélisation O

17.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MECA_HEXA8, MEFL_HEXA8, MEFL_PYRAM5, MEFS_QUAD4

On reprend le maillage de la modélisation A en remplaçant une couche d'éléments de fluide HEXA8 par une couche d'éléments de fluide PYRAM5.

Conditions aux limites :

en tous les nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0. DZ:0.)
```

17.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds :	71
Nombre de mailles et types :	16 HEXA8, 48 PYRAM5, 8 QUAD4

17.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	< 0.01

17.4 Remarques

Calculs de modes effectués par :

```
CALC_MODES
              OPTION='AJUSTE',
              CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

18 Modélisation P

18.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MECA_HEXA20, MEFL_HEXA20, MEFL_PYRAM13, MESF_QUAD8

On reprend le maillage de la modélisation O en passant du linéaire au quadratique et en créant une couche d'éléments de fluide PYRAM 13 .

Conditions aux limites :
en tous les nœuds de la face M

```
DDL_IMPO :    (GROUP_NO : noeusurf    PRES: 0. PHI:0.)
```

en tous les nœuds du piston

```
              (GROUP_NO : noeupist    DY: 0. DZ:0.)
```

18.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 273
Nombre de mailles et types : 16 HEXA20, 48 PYRAM13, 8 QUAD8

18.3 Valeurs testées

Fréquence (Hz)

Référence	*Aster*	Erreur (%)
13.8285	13.8277	-0.006

18.4 Remarques

Calculs de modes effectués par :

```
CALC_MODES
              OPTION='AJUSTE',
              CALC_FREQ=_F(FREQ=(10.,20.))
```

On ne connaît pas la solution analytique du premier vecteur propre.

Contenu du fichier résultats :

Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.

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

19 Synthèse des résultats

La valeur de la fréquence modale obtenue avec *Code_Aster* est satisfaisante puisque, avec une discrétisation modérée, elle est égale à 0,01% près à la solution théorique, quel que soit le type de modélisation.

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