

## 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.

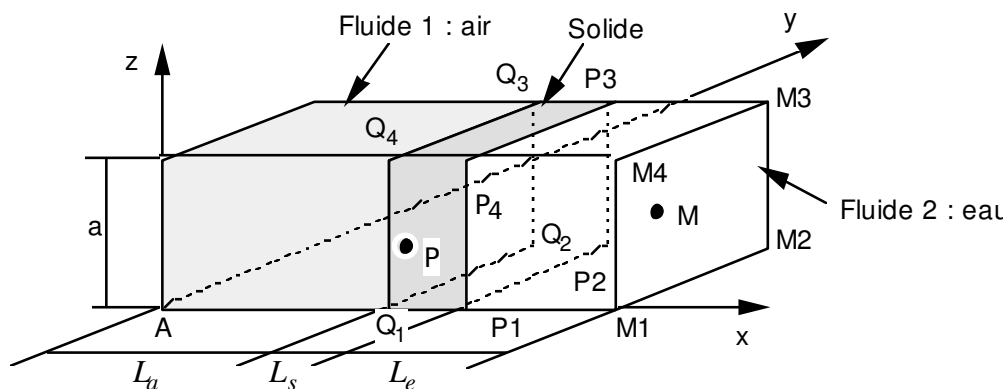
On teste les matrices de rigidité et de masse des éléments de type fluide et de type couplage fluide-structure.

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

Seize modélisations sont testées.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie



$$L_a = 0.075, L_s = 0.025, L_e = 0.05 \text{ m}$$

section carrée constante,  $a = 0.05 \text{ m}$

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

### 1.2 Propriétés des matériaux

solide :  $E = 2.10^{11} \text{ Pa}$

$\rho_s = 7800 \text{ kg/m}^3$

$\nu = 0.3$

air :  $c_a = 340 \text{ m/s}$

$\rho_a = 1.2 \text{ kg/m}^3$

eau :  $c_e = 1400 \text{ m/s}$

$\rho_e = 1000 \text{ kg/m}^3$

$c = \text{célérité du son}$

$c =$  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  $x$ .

## 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 :

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

Soit,

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

**Remarque :**

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

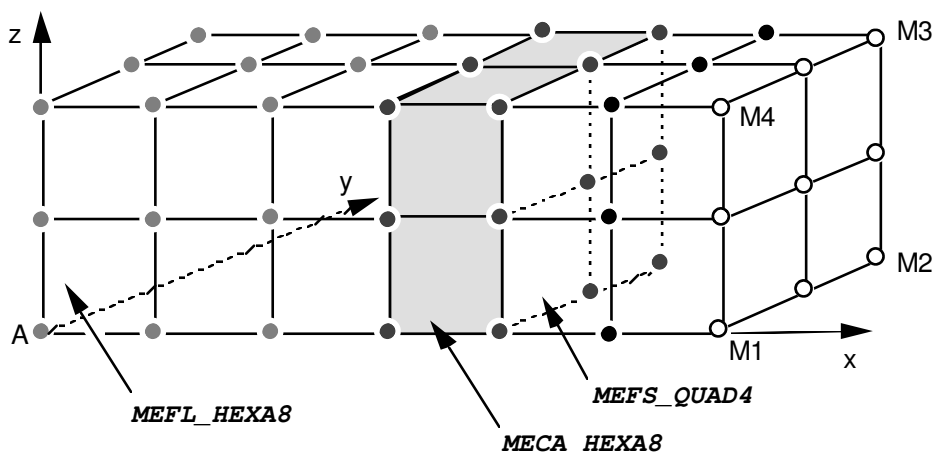
### 2.2 Références bibliographiques

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

## 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 24 HEXA8, 8 QUAD4  
types :

### 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.))
```

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

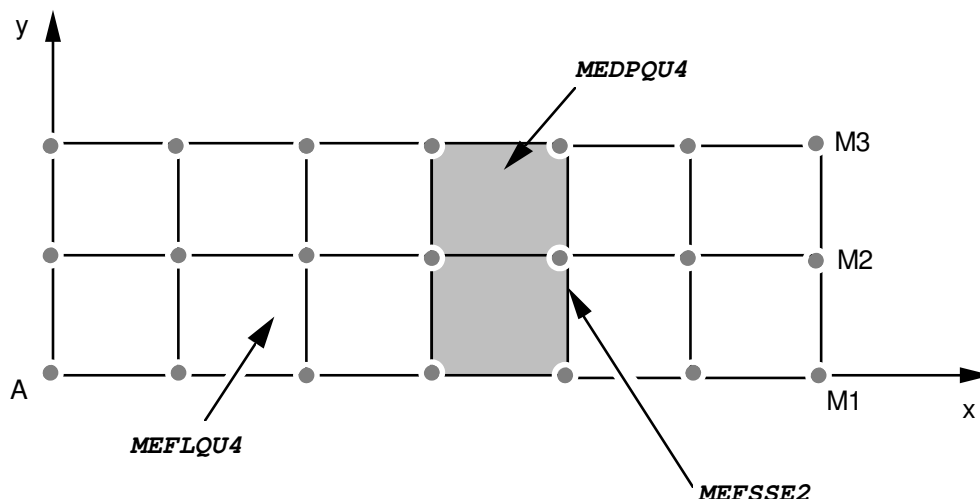
**Contenu du fichier résultats :**

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

## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

Éléments MEDPQU4, MEFLQU4, MEFSSSE2



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.

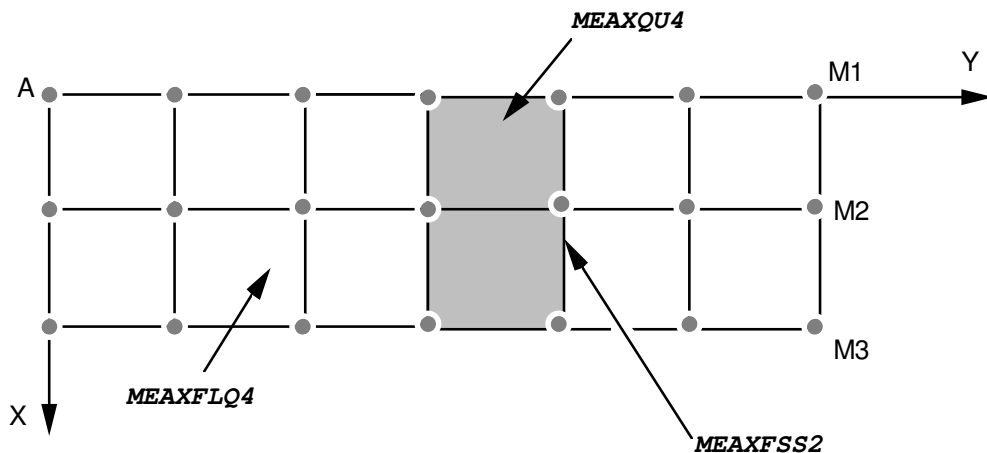
Contenu du fichier résultats :

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

## 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.

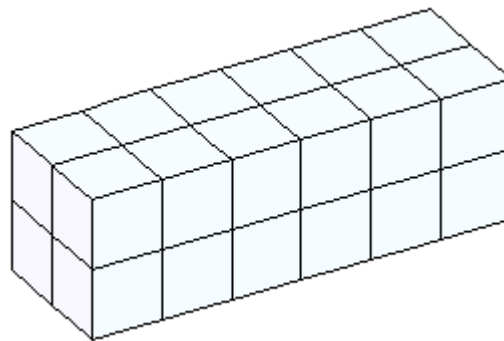
**Contenu du fichier résultats :**

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

## 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 :**

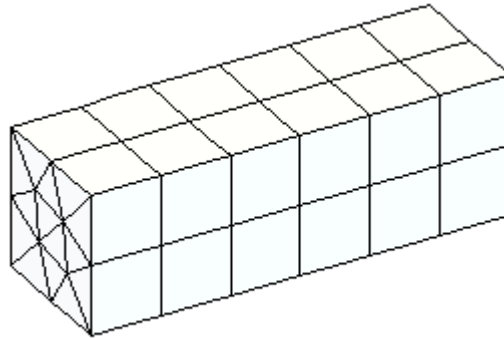
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.



## 7 Modélisation E

### 7.1 Caractéristiques de la modélisation

Éléments MECA\_PENTA15, MEFL\_PENTA15, 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.)

### 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.

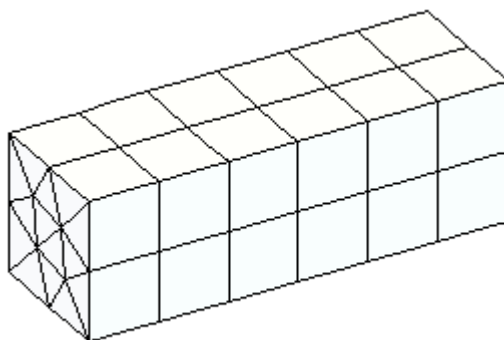
**Contenu du fichier résultats :**

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

## 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.

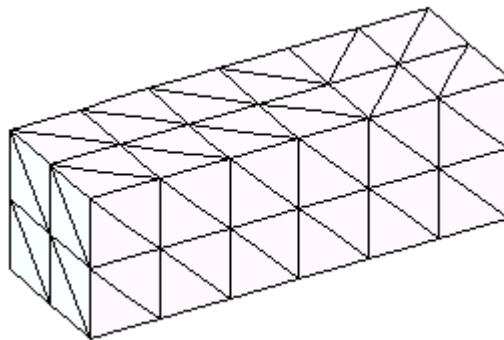
**Contenu du fichier résultats :**

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

## 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.

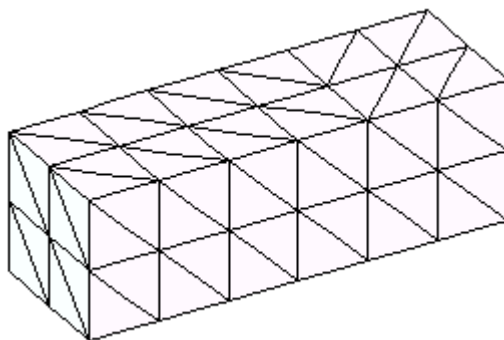
**Contenu du fichier résultats :**

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

## 10 Modélisation H

### 10.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MECA\_TETRA4, MEFL\_TETRA4, 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.)

### 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.

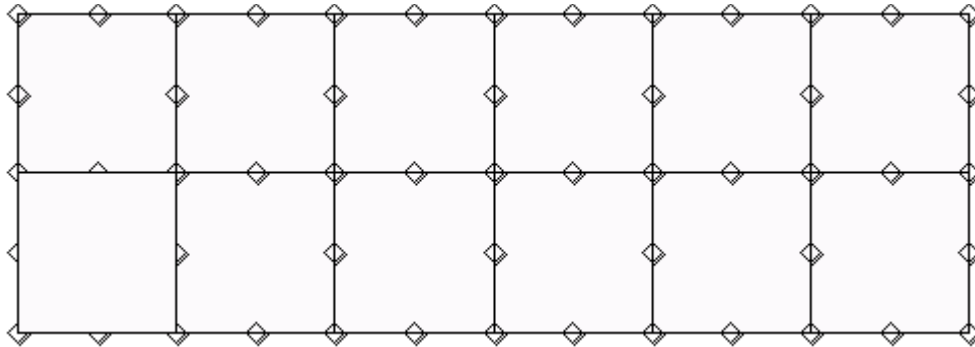
Contenu du fichier résultats :

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

## 11 Modélisation I

### 11.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MEDPQU8, MEFLQU8, MEFSSE3



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.)

### 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.

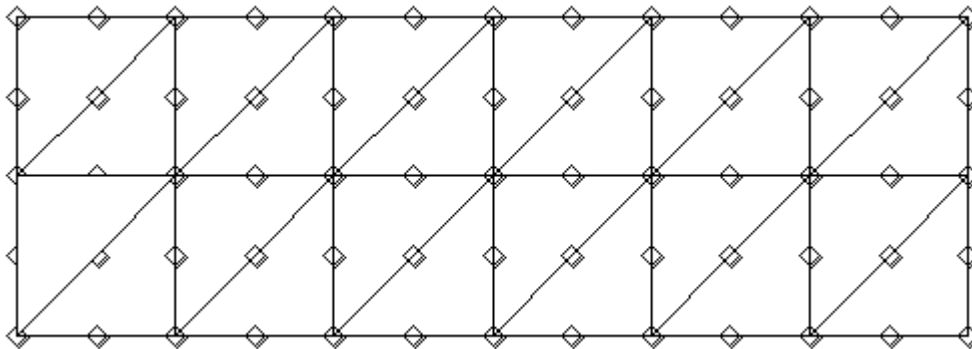
**Contenu du fichier résultats :**

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

## 12 Modélisation J

### 12.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MEDPTR6, MEFLTR6, MEFSSSE3



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.)

### 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.

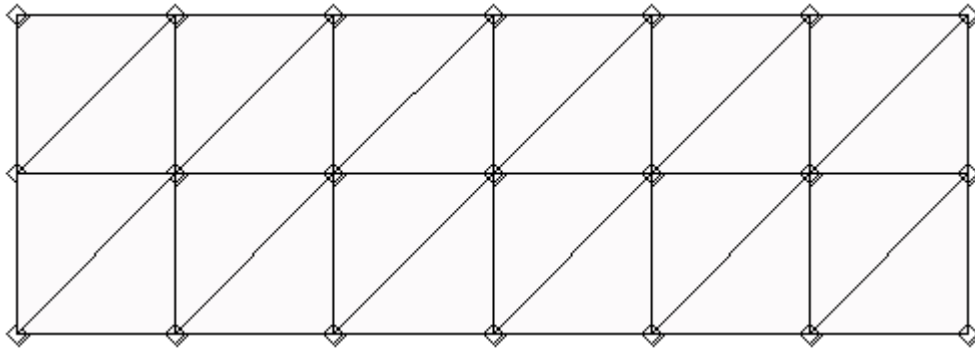
**Contenu du fichier résultats :**

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

## 13 Modélisation K

### 13.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments MEDPTR3, MEFLT3, 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.)

### 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.

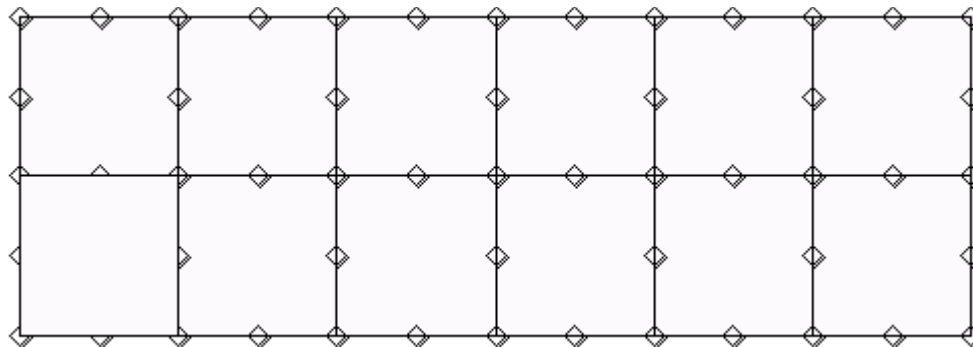
**Contenu du fichier résultats :**

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

## 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 :**

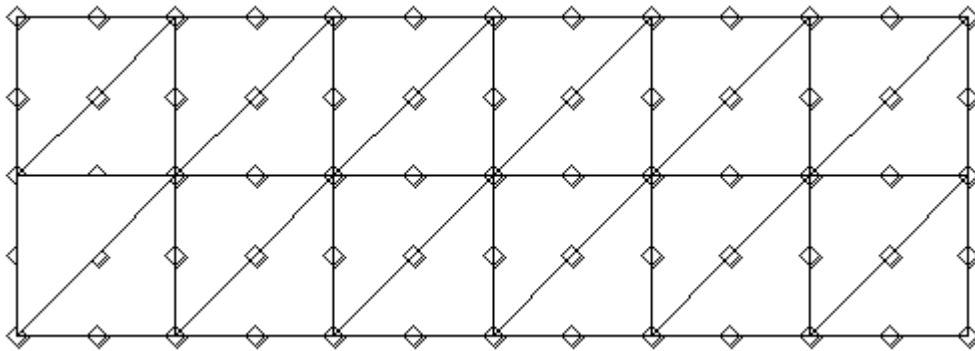
Valeur de la première fréquence propre de vibration du système couplé.



## 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.

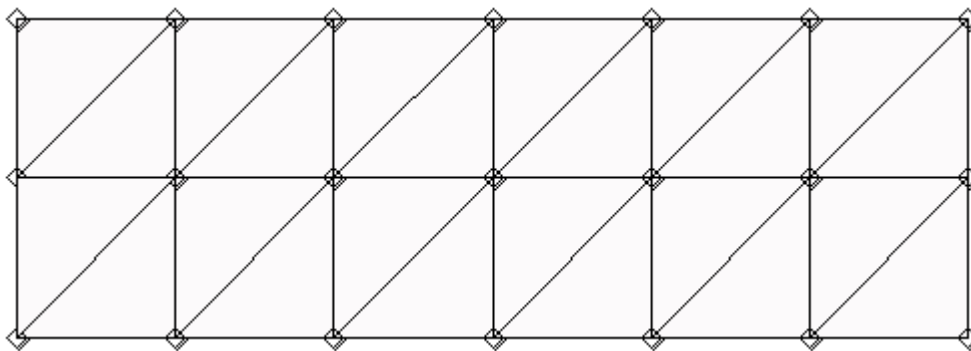
**Contenu du fichier résultats :**

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

## 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.

## 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 16 HEXA8, 48 PYRAM5,  
types : 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.

## 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.

## 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.