

## SSLV04 - Cylindre creux en contraintes planes

---

### Résumé :

Ce test est tiré du Guide VPCS (test SSLV04/89) et a pour objet un cylindre creux chargé en pression interne.

Ce problème tridimensionnel est traité avec différentes modélisations :

- en 3D : 9 modélisations (pentaèdres, hexaèdres, tétraèdres et pyramides, degrés 1 et 2),
- en 2D contraintes planes : 4 modélisations (triangles et quadrangles degrés 1 et 2, quadrangles à 9 nœuds),
- en 2D axisymétrique : 3 modélisations (triangles et quadrangles degrés 1 et 2, quadrangles à 9 nœuds).

Les fonctionnalités testées sont :

- pression répartie,
- effet de fond (avec pression fixe ou variable),
- déplacements imposés,
- matrices de rigidité,
- déformations et contraintes aux nœuds,
- réactions nodales (modélisation K),
- utilisation de `MACR_LIGN_COUP` sur un concept `mult_elas` et un concept `comb_fourier` (modélisation I)

Il y a 16 modélisations.

## 1 Problème de référence

---

### 1.1 Géométrie

Coordonnées des points :

|          | <i>A</i> | <i>B</i> | <i>C</i>         | <i>D</i>         | <i>E</i>     | <i>F</i>   |
|----------|----------|----------|------------------|------------------|--------------|------------|
| <i>x</i> | 0.100    | 0.200    | $0.1 \cos(22.5)$ | $0.2 \cos(22.5)$ | $\sqrt{2}/2$ | $\sqrt{2}$ |
| <i>y</i> | 0.       | 0.       | $0.1 \sin(22.5)$ | $0.2 \sin(22.5)$ | $\sqrt{2}/2$ | $\sqrt{2}$ |
| <i>z</i> | 0        | 0.       | 0.               | 0.               | 0.           | 0.         |

### 1.2 Propriétés de matériaux

Le module d'Young du matériau est égal à  $E = 2.10^5 \text{ MPa}$ .

Le coefficient de Poisson est égal à  $\nu = 0.3$ .

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

Pression interne :

$$P = 60 \text{ MPa}$$

Pression interne variable (modélisation P uniquement) :

$P$  varie linéairement de  $60 \text{ MPa}$  à  $t = 1.s$  à  $120 \text{ MPa}$  à  $t = 2.s$

## 2 Solution de référence

### 2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

En contrainte plane (cylindre à bords libres aux extrémités)

$$\begin{aligned}\sigma_{zz} &= 0 \\ \sigma_{rr} &= P \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left[ 1 - \frac{b^2}{r^2} \right] \\ \sigma_{\theta\theta} &= P \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left[ 1 + \frac{b^2}{r^2} \right] \\ \sigma_{r\theta} &= 0 \\ u_r &= \frac{P}{E} \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left[ (1 - \nu) + (1 + \nu) \frac{b^2}{r^2} \right] r \\ \varepsilon_{rr} &= \frac{P}{E} \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left[ (1 - \nu) - (1 + \nu) \frac{b^2}{r^2} \right] \\ \varepsilon_{\theta\theta} &= \frac{u_r}{r}\end{aligned}$$

On obtient :

$$\begin{array}{ll} u_r = 59.10^{-6} & u_r = 40.10^{-6} \\ \sigma_{rr} = -60. & \sigma_{rr} = 0. \\ \sigma_{\theta\theta} = 100. & \sigma_{\theta\theta} = 40. \\ \text{pour } r=0.1 : \quad \sigma_{zz} = \sigma_{r\theta} = 0. & ; \text{ pour } r=0.2 : \quad \sigma_{zz} = \sigma_{r\theta} = 0. \\ \varepsilon_{rr} = -45.10^{-5} & \varepsilon_{rr} = -6.10^{-5} \\ \varepsilon_{\theta\theta} = 59.10^{-5} & \varepsilon_{\theta\theta} = 2.10^{-4} \end{array}$$

Passage dans le système d'axes cartésiens :

$$\begin{aligned}\sigma_{xx} &= \sigma_{rr} \cos^2 \theta + \sigma_{\theta\theta} \sin^2 \theta - 2 \sigma_{r\theta} \sin \theta \cos \theta \\ \sigma_{yy} &= \sigma_{rr} \sin^2 \theta + \sigma_{\theta\theta} \cos^2 \theta + 2 \sigma_{r\theta} \sin \theta \cos \theta \\ \sigma_{xy} &= \sigma_{rr} \sin \theta \cos \theta - \sigma_{\theta\theta} \sin \theta \cos \theta - 2 \sigma_{r\theta} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)\end{aligned}$$

avec :

- $\theta = 0^\circ$  aux points *A* et *B*,
- $\theta = 22.5^\circ$  aux points *C* et *D*,
- $\theta = 45^\circ$  aux points *E* et *F*.

### 2.2 Résultats de référence

Déplacements  $(u, v)$  et contraintes  $(\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy})$  aux points *A, B, C, D, E, F*.

## 2.3 Références bibliographiques

- 1 Guide VPCS. SSLV04/89
- 2 Y. C. FUNG. Foundations of solid mechanics. Prentice-hall, inc. Englewood Cliffs. NJ. 1965  
p. 243 à 245.
- 3 J. COURBON. Résistance des matériaux p 649

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Éléments 3D (PENTA6 et HEXA8).

Maillage obtenu par extrusion à partir d'un maillage 2D ressemblant au maillage ci-dessous (30 éléments dans la direction radiale avec dé-raffinement progressif et 15+15 éléments dans la direction circonférentielle).

Suivant l'axe  $Z$  : 1 couche d'éléments  
Épaisseur totale : 0.01m

Conditions limites :

nœud  $F$  :  $u_z=0$

face  $AB$  bloquée en  $dy$

face  $EF$  bloquée normalement

pression sur la face  $AE$   $p=60$ .

Noms des nœuds :  $A=N993$   $B=N1443$   $C=N1$   
 $D=N31$   $E=N496$   $F=N495$

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1922

Nombre de mailles et types : 900 PENTA6, 450 HEXA8 et 90 QUAD4 (faces peau interne).

## 3.3 Grandeurs testées et résultats

| Localisation                                        | Grandeur                          | Référence | Type de référence | Tolérance |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------|-------------------|-----------|
| Champ $\text{nor}_{\text{DNOR}}$<br>Point $\bar{E}$ | Vecteur normal,<br>composante $X$ | -0,707    | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %     |
| Champ $\text{nor}_{\text{DNOR}}$<br>point $\bar{E}$ | Vecteur normal,<br>composante $Y$ | -0,707    | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %     |
| Champ $\text{nor}_{\text{DNOR}}$<br>point $\bar{F}$ | Vecteur normal,<br>composante $X$ | -0,707    | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %     |
| Champ $\text{nor}_{\text{DNOR}}$<br>point $\bar{F}$ | Vecteur normal,<br>composante $Y$ | -0,707    | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %     |
| Champ $\text{nor}_{\text{PRES}}$<br>point $\bar{A}$ | Vecteur normal,<br>composante $X$ | 1,0       | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %     |
| Champ $\text{nor}_{\text{PRES}}$<br>point $\bar{A}$ | Vecteur normal,<br>composante $Y$ | 0,0       | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %     |
| Champ $\text{nor}_{\text{PRES}}$<br>point $\bar{E}$ | Vecteur normal,<br>composante $X$ | -0,707    | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %     |
| Champ $\text{nor}_{\text{PRES}}$<br>point $\bar{E}$ | Vecteur normal,<br>composante $Y$ | -0,707    | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %     |

| Localisation                                                                         | Grandeur | Référence | Type de référence | Tolérance |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------|
| Maille M1380, point A                                                                |          |           |                   |           |
| SIRO_ELEM<br>Contrainte normale à la face de l'élément                               | SIG_NX   | 60.0      | 'ANALYTIQUE'      | 2.0%      |
|                                                                                      | SIG_NY   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
|                                                                                      | SIG_NZ   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                                      | SIG_N    | -60.0     | 'ANALYTIQUE'      | 2.0%      |
| SIRO_ELEM<br>Contrainte tangentielle dans le plan de l'élément                       | SIG_TX   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                                      | SIG_TY   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 1.0%      |
|                                                                                      | SIG_TZ   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
| SIRO_ELEM<br>Première valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément | SIG_T1X  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                                      | SIG_T1Y  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                                      | SIG_T1Z  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
|                                                                                      | SIG_T1   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
| SIRO_ELEM<br>Deuxième valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément | SIG_T2X  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 2.0       |
|                                                                                      | SIG_T2Y  | -100.0    | 'ANALYTIQUE'      | 1.0%      |
|                                                                                      | SIG_T2Z  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                                      | SIG_T2   | 100.0     | 'ANALYTIQUE'      | 1.0%      |
|                                                                                      |          |           | 'ANALYTIQUE'      |           |
|                                                                                      |          |           | 'ANALYTIQUE'      |           |
| Maille M1351, point E                                                                |          |           |                   |           |
| SIRO_ELEM<br>Contrainte normale à la face de l'élément                               | SIG_NX   | 42.426    | 'ANALYTIQUE'      | 1.5%      |
|                                                                                      | SIG_NY   | 42.426    | 'ANALYTIQUE'      | 2.0%      |
|                                                                                      | SIG_NZ   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                                      | SIG_N    | -60.0     | 'ANALYTIQUE'      | 1.0%      |
| SIRO_ELEM<br>Contrainte tangentielle dans le plan de l'élément                       | SIG_TX   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
|                                                                                      | SIG_TY   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
|                                                                                      | SIG_TZ   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.2       |
| SIRO_ELEM<br>Première valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément | SIG_T1X  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                                      | SIG_T1Y  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                                      | SIG_T1Z  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.1       |
|                                                                                      | SIG_T1   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.2       |
| SIRO_ELEM<br>Deuxième valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément | SIG_T2X  | 70.711    | 'ANALYTIQUE'      | 1.5%      |
|                                                                                      | SIG_T2Y  | -70.711   | 'ANALYTIQUE'      | 1.5%      |
|                                                                                      | SIG_T2Z  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                                      | SIG_T2   | 100.0     | 'ANALYTIQUE'      | 1.0%      |

| Localisation   | Grandeur                           | Valeur de référence     | Type de référence | Tolérance     |
|----------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------|---------------|
| point <i>A</i> | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | $5.9 \cdot 10^{-5}$     | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-10(absolu) |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | -60.                    | 'ANALYTIQUE'      | 2 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 100.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 0,5 (absolu)  |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 2 (absolu)    |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXX</i> | $-4.5 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPYY</i> | $5.9 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXY</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| <i>B</i>       | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | $4 \cdot 10^{-5}$       | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-10(absolu) |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 2 (absolu)    |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 40.                     | 'ANALYTIQUE'      | 2 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1 (absolu)    |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 2 (absolu)    |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXX</i> | $-6 \cdot 10^{-5}$      | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPYY</i> | $2 \cdot 10^{-4}$       | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXY</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| <i>D</i>       | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | $3.69552 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | $1.53073 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| <i>E</i>       | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 6 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 6 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 (absolu)  |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | -80.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXX</i> | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 10 %          |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPYY</i> | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 10 %          |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXY</i> | $-5.2 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| <i>F</i>       | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | $2.82843 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | $2.82843 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 6 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 0,2 (absolu)  |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | -20.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXX</i> | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 8 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPYY</i> | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 2 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXY</i> | $-1.3 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |



## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

Éléments 3D (PENTA15 et HEXA20).

Maillage obtenu par extrusion à partir du maillage 2D ci-dessous (modélisation F)

Suivant l'axe  $Z$  : 2 couches d'éléments

Épaisseur totale : 0.01m

Conditions limites :

nœud  $F = u_z = 0$

face  $AB$  bloquée en  $dx$

face  $EF$  bloquée normalement

pression sur la face  $AE$   $p = 60$ .

Noms des nœuds :  $A = NO2$   $B = NO361$   $C = NO121$   
 $D = NO584$   $E = NO155$   $F = NO503$

### 4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 2115

Nombre de mailles et types : 400 PENTA15, 100 HEXA20 40 QUAD8 (faces peau interne)

## 4.3 Grandeurs testées et résultats

| Localisation                                                            | Grandeur | Référence | Type de référence | Tolérance |
|-------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------|
| Maille MA751, point <i>A</i>                                            |          |           |                   |           |
| SIRO_ELEM                                                               | SIG_NX   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 3.        |
| Contrainte normale à la face de l'élément                               | SIG_NY   | 60.0      | 'ANALYTIQUE'      | 0.5%      |
|                                                                         | SIG_NZ   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                         | SIG_TX   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.1       |
| Contrainte tangentielle dans le plan de l'élément                       | SIG_TY   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.1       |
|                                                                         | SIG_TZ   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.1       |
|                                                                         | SIG_TIX  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
| Première valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément | SIG_TIY  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                         | SIG_TIZ  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.05      |
|                                                                         | SIG_T2X  | 100.0     | 'ANALYTIQUE'      | 0.15%     |
| Deuxième valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément | SIG_T2Y  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 4.5       |
|                                                                         | SIG_T2Z  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.20      |
| Maille MA769, point <i>E</i>                                            |          |           |                   |           |
| SIRO_ELEM                                                               | SIG_NX   | -42.426   | 'ANALYTIQUE'      | 6.0%      |
| Contrainte normale à la face de l'élément                               | SIG_NY   | 42.426    | 'ANALYTIQUE'      | 4.0%      |
|                                                                         | SIG_NZ   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                         | SIG_TX   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
| Contrainte tangentielle dans le plan de l'élément                       | SIG_TY   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                         | SIG_TZ   | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.03      |
|                                                                         | SIG_TIX  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
| Première valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément | SIG_TIY  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                         | SIG_TIZ  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                         | SIG_T2X  | 70.711    | 'ANALYTIQUE'      | 3.5%      |
| Deuxième valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément | SIG_T2Y  | 70.711    | 'ANALYTIQUE'      | 4.5%      |
|                                                                         | SIG_T2Z  | 0.0       | 'ANALYTIQUE'      | 0.1       |

| Localisation   | Grandeur                           | Valeur de référence  | Type de référence | Tolérance     |
|----------------|------------------------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| point <i>A</i> |                                    |                      |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | 0.                   | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| -              | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | 5.9 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille MA251   | Champ SIGM_ELNO, comp. <i>SIXX</i> | 100.                 | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille MA251   | Champ SIGM_ELNO, comp. <i>SIYY</i> | - 60.                | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille MA251   | Champ SIGM_ELNO, comp. <i>SIZZ</i> | 0.                   | 'ANALYTIQUE'      | 0,02 (absolu) |

|                |                             |                          |              |                |
|----------------|-----------------------------|--------------------------|--------------|----------------|
| Maille MA251   | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                       | 'ANALYTIQUE' | 0,5 (absolu)   |
| Maille MA251   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $5.9 \cdot 10^{-4}$      | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| Maille MA251   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $-4.5 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| Maille MA251   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE' | 1E-2 (absolu)  |
| Maille MA251   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                       | 'ANALYTIQUE' | 1E-2 (absolu)  |
| <b>Point B</b> |                             |                          |              |                |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 0.                       | 'ANALYTIQUE' | 1E-4 (absolu)  |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | $4 \cdot 10^{-5}$        | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| Maille MA551   | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 40.                      | 'ANALYTIQUE' | 0,1 %          |
| Maille MA551   | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 0.                       | 'ANALYTIQUE' | 0,1 (absolu)   |
| Maille MA551   | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE' | 0,015 (absolu) |
| Maille MA551   | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                       | 'ANALYTIQUE' | 0,15 (absolu)  |
| Maille MA551   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $2 \cdot 10^{-4}$        | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| Maille MA551   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | $-0.6 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| Maille MA551   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                       | 'ANALYTIQUE' | 1E-2 (absolu)  |
| Maille MA551   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | 0.                       | 'ANALYTIQUE' | 1E-2 (absolu)  |
| <b>E</b>       |                             |                          |              |                |
|                | Champ DEPL, comp. X         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$  | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
|                | Champ DEPL, comp. Y         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$  | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| Maille MA399   | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 20.                      | 'ANALYTIQUE' | 10 %           |
| Maille MA399   | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 20.                      | 'ANALYTIQUE' | 10 %           |
| Maille MA399   | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE' | 0,5 (absolu)   |
| Maille MA399   | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 80.                      | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| Maille MA399   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $0.7 \cdot 10^{-4}$      | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| Maille MA399   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $0.7 \cdot 10^{-4}$      | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| Maille MA399   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE' | 1E-2 (absolu)  |
| Maille MA399   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | $5.2 \cdot 10^{-4}$      | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| <b>F</b>       |                             |                          |              |                |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | $-2.82843 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | $2.82843 \cdot 10^{-5}$  | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| Maille MA695   | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 20.                      | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| Maille MA695   | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 20.                      | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| Maille MA695   | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE' | 0,05 (absolu)  |
| Maille MA695   | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 20.                      | 'ANALYTIQUE' | 0,1 %          |
| Maille MA695   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $0.7 \cdot 10^{-4}$      | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| Maille MA695   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $0.7 \cdot 10^{-4}$      | 'ANALYTIQUE' | 1 %            |
| Maille MA695   | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE' | 1E-2 (absolu)  |

Titre : SSLV04 - Cylindre creux en contraintes planes  
Responsable : DELMAS Josselin

Date : 14/09/2017 Page : 12/46  
Clé : V3.04.004 Révision :  
54f6701b8b6b

Maille MA695

Champ  $\epsilon_{PSI\_ELNO,comp.}$   
 $EPXY$

$1.3 \cdot 10^{-4}$

'ANALYTIQUE'

1 %

## 5 Modélisation C

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

Éléments 3D (TETRA4).

$AB$  est sur l'axe  $OX$

Découpage : 21 nœuds équidistants sur les segments  $AB$ ,  $CD$  et  $EF$

21 nœuds équidistants sur les arcs  $ACE$  et  $BDF$

Suivant l'axe  $Z$  : 1 couche d'éléments

Epaisseur totale : 0.01m

Conditions limites :

nœud  $F$  :  $u_z = 0$

face  $AB$  bloquée en  $dy$

face  $EF$  bloquée normalement

pression sur la face  $AE$   $p = 60$ .

|                  |            |            |             |
|------------------|------------|------------|-------------|
| Noms des nœuds : | $A = N165$ | $B = N4$   | $C = N209$  |
|                  | $D = N82$  | $E = N244$ | $F = N1068$ |

### 5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1115

Nombre de mailles et types : 3724 TETRA4 et 1760 TRIA3 (faces peau interne)

## 5.3 Grandeurs testées et résultats

| Localisation                                        | Grandeur                          | Valeur de référence | Type de référence | Tolérance |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------|-----------|
| Champ $\text{nor}_{\text{DNOR}}$<br>Point $\bar{E}$ | Vecteur normal,<br>composante $X$ | -0,707              | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %     |
| Champ $\text{nor}_{\text{DNOR}}$<br>point $\bar{E}$ | Vecteur normal,<br>composante $Y$ | -0,707              | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %     |
| Champ $\text{nor}_{\text{DNOR}}$<br>point $\bar{F}$ | Vecteur normal,<br>composante $X$ | -0,707              | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %     |
| Champ $\text{nor}_{\text{DNOR}}$<br>point $\bar{F}$ | Vecteur normal,<br>composante $Y$ | -0,707              | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %     |
| Champ $\text{nor}_{\text{PRES}}$<br>point $\bar{A}$ | Vecteur normal,<br>composante $X$ | 1,0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %     |
| Champ $\text{nor}_{\text{PRES}}$<br>point $\bar{A}$ | Vecteur normal,<br>composante $Y$ | 0,0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %     |
| Champ $\text{nor}_{\text{PRES}}$<br>point $\bar{E}$ | Vecteur normal,<br>composante $X$ | -0,707              | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %     |
| Champ $\text{nor}_{\text{PRES}}$<br>point $\bar{E}$ | Vecteur normal,<br>composante $Y$ | -0,707              | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %     |

| Localisation                                                            | Grandeur | Valeur de référence | Type de référence | Tolérance |
|-------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------|-------------------|-----------|
| Maille M5444, point A                                                   |          |                     |                   |           |
| Contrainte normale à la face de l'élément                               | SIG_NX   | 60.0                | 'ANALYTIQUE'      | 8.0%      |
|                                                                         | SIG_NY   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.5       |
|                                                                         | SIG_NZ   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 0.1       |
| Contrainte tangentielle dans le plan de l'élément                       | SIG_TX   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 0.1       |
|                                                                         | SIG_TY   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
|                                                                         | SIG_TZ   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
| Première valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément | SIG_T1X  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                         | SIG_T1Y  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                         | SIG_T1Z  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.5       |
| Deuxième valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément | SIG_T2X  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 2.5       |
|                                                                         | SIG_T2Y  | -100.0              | 'ANALYTIQUE'      | 2.0%      |
|                                                                         | SIG_T2Z  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 0.20      |
| Maille M5404, point E                                                   |          |                     |                   |           |
| Contrainte normale à la face de l'élément                               | SIG_NX   | 42.426              | 'ANALYTIQUE'      | 6.0%      |
|                                                                         | SIG_NY   | 42.426              | 'ANALYTIQUE'      | 9.0%      |
|                                                                         | SIG_NZ   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.00      |
| Contrainte tangentielle dans le plan de l'élément                       | SIG_TX   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
|                                                                         | SIG_TY   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
|                                                                         | SIG_TZ   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
| Première valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément | SIG_T1X  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                         | SIG_T1Y  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                         | SIG_T1Z  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.50      |
| Deuxième valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément | SIG_T2X  | -70.711             | 'ANALYTIQUE'      | 2.0%      |
|                                                                         | SIG_T2Y  | 70.711              | 'ANALYTIQUE'      | 4.0%      |
|                                                                         | SIG_T2Z  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 0.10      |

| Localisation | Grandeur                    | Valeur de référence  | Type de référence | Tolérance     |
|--------------|-----------------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| point A      | Champ DEPL, comp. X         | $5.9 \cdot 10^{-5}$  | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
|              | Champ DEPL, comp. Y         | 0.                   | 'ANALYTIQUE'      | 1E-10(absolu) |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXX | -60.                 | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. SIYY | 100.                 | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. SIZZ | 0.                   | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 (absolu)  |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXY | 0.                   | 'ANALYTIQUE'      | 3 (absolu)    |
|              | Champ EPSI_NOEU, comp. EPXX | $-4.5 \cdot 10^{-4}$ | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |
|              | Champ EPSI_NOEU, comp. EPHY | $5.9 \cdot 10^{-4}$  | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |
|              | Champ EPSI_NOEU, comp. EPZZ | 0.                   | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |

|          |                             |                         |              |               |
|----------|-----------------------------|-------------------------|--------------|---------------|
|          | Champ EPSI_NOEU, comp. EPXY | 0.                      | 'ANALYTIQUE' | 1E-4 (absolu) |
| <i>B</i> | Champ DEPL, comp. X         | $4 \cdot 10^{-5}$       | 'ANALYTIQUE' | 1 %           |
|          | Champ DEPL, comp. Y         | 0.                      | 'ANALYTIQUE' | 1E-10(absolu) |
|          | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXX | 0.                      | 'ANALYTIQUE' | 2 (absolu)    |
|          | Champ SIGM_NOEU, comp. SIYY | 40.                     | 'ANALYTIQUE' | 5 %           |
|          | Champ SIGM_NOEU, comp. SIZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE' | 1 (absolu)    |
|          | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXY | 0.                      | 'ANALYTIQUE' | 1 (absolu)    |
|          | Champ EPSI_NOEU, comp. EPXX | $-6 \cdot 10^{-5}$      | 'ANALYTIQUE' | 15 %          |
|          | Champ EPSI_NOEU, comp. EPYY | $2 \cdot 10^{-4}$       | 'ANALYTIQUE' | 5 %           |
|          | Champ EPSI_NOEU, comp. EPZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE' | 1E-4 (absolu) |
|          | Champ EPSI_NOEU, comp. EPXY | 0.                      | 'ANALYTIQUE' | 1E-4 (absolu) |
| <i>D</i> | Champ DEPL, comp. X         | $3.69552 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE' | 1 %           |
|          | Champ DEPL, comp. Y         | $1.53073 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE' | 1 %           |
| <i>E</i> | Champ DEPL, comp. X         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE' | 1 %           |
|          | Champ DEPL, comp. Y         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE' | 1 %           |
|          | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXX | 20.                     | 'ANALYTIQUE' | 11 %          |
|          | Champ SIGM_NOEU, comp. SIYY | 20.                     | 'ANALYTIQUE' | 10 %          |
|          | Champ SIGM_NOEU, comp. SIZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE' | 0,5 (absolu)  |
|          | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXY | -80.                    | 'ANALYTIQUE' | 5 %           |
|          | Champ EPSI_NOEU, comp. EPXX | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE' | 20 %          |
|          | Champ EPSI_NOEU, comp. EPYY | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE' | 20 %          |
|          | Champ EPSI_NOEU, comp. EPZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE' | 1E-4 (absolu) |
|          | Champ EPSI_NOEU, comp. EPXY | $-5.2 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE' | 3 %           |
| <i>F</i> | Champ DEPL, comp. X         | $2.82843 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE' | 1 %           |
|          | Champ DEPL, comp. Y         | $2.82843 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE' | 1 %           |
|          | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXX | 20.                     | 'ANALYTIQUE' | 10 %          |
|          | Champ SIGM_NOEU, comp. SIYY | 20.                     | 'ANALYTIQUE' | 1 %           |
|          | Champ SIGM_NOEU, comp. SIZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE' | 0,4 (absolu)  |
|          | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXY | -20.                    | 'ANALYTIQUE' | 1 %           |
|          | Champ EPSI_NOEU, comp. EPXX | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE' | 11 %          |
|          | Champ EPSI_NOEU, comp. EPYY | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE' | 5 %           |
|          | Champ EPSI_NOEU, comp. EPZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE' | 1E-4 (absolu) |
|          | Champ EPSI_NOEU, comp. EPXY | $-1.3 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE' | 1 %           |



## 6 Modélisation D

### 6.1 Caractéristiques de la modélisation

Élément 3D (TETRA10).

$AB$  est sur l'axe  $OX$

Découpage : 11 nœuds équidistants sur les segments  $AB$ ,  $CD$  et  $EF$   
11 nœuds équidistants sur les arcs  $ACE$  et  $BDF$

Suivant l'axe  $Z$  : 1 couche d'éléments  
Epaisseur totale : 0.01m

Conditions limites :

nœud  $F$  :  $u_z = 0$

face  $AB$  bloquée en  $dy$

face  $EF$  bloquée normalement

pression sur la face  $AE$   $p = 60$ .

|                  |            |           |            |
|------------------|------------|-----------|------------|
| Noms des nœuds : | $A = N184$ | $B = N4$  | $C = N207$ |
|                  | $D = N50$  | $E = N22$ | $F = N726$ |

### 6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1395

Nombre de mailles et types : 652 TETRA10 et 480 TRIA6 (faces peau interne)

## 6.3 Grandeurs testées et résultats

| Localisation   | Grandeur                           | Valeur de référence     | Type de référence | Tolérance     |
|----------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------|---------------|
| point <i>A</i> | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | $5.9 \cdot 10^{-5}$     | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | -60.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 100.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1 (absolu)    |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1 (absolu)    |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXX</i> | $-4.5 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPYY</i> | $5.9 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXY</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| <i>B</i>       | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | $4 \cdot 10^{-5}$       | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1 (absolu)    |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 40.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1 (absolu)    |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1 (absolu)    |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXX</i> | $-6 \cdot 10^{-5}$      | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPYY</i> | $2 \cdot 10^{-4}$       | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXY</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| <i>D</i>       | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | $3.69552 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | $1.53073 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| <i>E</i>       | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 2 (absolu)    |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | -80.                    | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXX</i> | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPYY</i> | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 2 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXY</i> | $-5.2 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| <i>F</i>       | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | $2.82843 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | $2.82843 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 2E-3 (absolu) |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | -20.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXX</i> | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 2 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPYY</i> | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 2 %           |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPZZ</i> | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
|                | Champ EPSI_NOEU, comp. <i>EPXY</i> | $-1.3 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |

| Localisation                                                                       | Grandeur | Valeur de référence | Type de référence | Tolérance |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------|-------------------|-----------|
| Maille M1111, point A                                                              |          |                     |                   |           |
| SIRO_ELEM                                                                          | SIG_NX   | 60.0                | 'ANALYTIQUE'      | 1.0%      |
| Contrainte normale à la face de l'élément                                          | SIG_NY   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 3.0       |
|                                                                                    | SIG_NZ   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
|                                                                                    | SIG_TX   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
| SIRO_ELEM                                                                          | SIG_TY   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 2.5       |
|                                                                                    | SIG_TZ   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
|                                                                                    | SIG_T1X  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
| Première valeur principale de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément | SIG_T1Y  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                                    | SIG_T1Z  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
| SIRO_ELEM                                                                          | SIG_T2X  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 4.5       |
|                                                                                    | SIG_T2Y  | -100.0              | 'ANALYTIQUE'      | 1.0%      |
|                                                                                    | SIG_T2Z  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 0.1       |
| Maille M1093, point E                                                              |          |                     |                   |           |
| SIRO_ELEM                                                                          | SIG_NX   | 42.426              | 'ANALYTIQUE'      | 14%       |
| Contrainte normale à la face de l'élément                                          | SIG_NY   | 42.426              | 'ANALYTIQUE'      | 5.0%      |
|                                                                                    | SIG_NZ   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
|                                                                                    | SIG_TX   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 2.0       |
| SIRO_ELEM                                                                          | SIG_TY   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 2.0       |
|                                                                                    | SIG_TZ   | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.0       |
|                                                                                    | SIG_T1X  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
| Première valeur principale de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément | SIG_T1Y  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 0.01      |
|                                                                                    | SIG_T1Z  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 1.5       |
| SIRO_ELEM                                                                          | SIG_T2X  | -70.711             | 'ANALYTIQUE'      | 5.0%      |
|                                                                                    | SIG_T2Y  | 70.711              | 'ANALYTIQUE'      | 4.0%      |
|                                                                                    | SIG_T2Z  | 0.0                 | 'ANALYTIQUE'      | 2.0       |

## 7 Modélisation E

### 7.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments C\_PLAN (TRIA3 + QUAD4)

Maillage 2D ressemblant au maillage ci-dessous (30 éléments dans la direction radiale avec déraffinement progressif et 15+15 éléments dans la direction circonférentielle).

Conditions limites :

côté  $AB$  bloqué en  $dy$

côté  $EF$  bloqué normalement

pression sur  $AE$   $p=60$ .

|                  |            |            |            |
|------------------|------------|------------|------------|
| Noms des nœuds : | $A = N1$   | $B = N451$ | $C = N496$ |
|                  | $D = N495$ | $E = N990$ | $F = N989$ |

### 7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 961

Nombre de mailles et types : 900 TRIA3, 450 QUAD4

## 7.3 Grandeurs testées et résultats

| Localisation                                 | Grandeur                          | Valeurs de référence | Type de référence | Tolérance |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|-----------|
| Champ nor <sub>DNOR</sub><br>Point $\bar{E}$ | Vecteur normal,<br>composante $X$ | -0,707               | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %     |
| Champ nor <sub>DNOR</sub><br>point $\bar{E}$ | Vecteur normal,<br>composante $Y$ | -0,707               | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %     |
| Champ nor <sub>DNOR</sub><br>point $\bar{F}$ | Vecteur normal,<br>composante $X$ | -0,707               | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %     |
| Champ nor <sub>DNOR</sub><br>point $\bar{F}$ | Vecteur normal,<br>composante $Y$ | -0,707               | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %     |
| Champ nor <sub>PRES</sub><br>point $\bar{A}$ | Vecteur normal,<br>composante $X$ | 1,0                  | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %     |
| Champ nor <sub>PRES</sub><br>point $\bar{A}$ | Vecteur normal,<br>composante $Y$ | 0,0                  | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %     |
| Champ nor <sub>PRES</sub><br>point $\bar{E}$ | Vecteur normal,<br>composante $X$ | -0,707               | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %     |
| Champ nor <sub>PRES</sub><br>point $\bar{E}$ | Vecteur normal,<br>composante $Y$ | -0,707               | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %     |

| Localisation | Grandeur                      | Valeur de référence     | Type de référence | Tolérance     |
|--------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------|---------------|
| point $A$    | Champ DEPL, comp. $X$         | $5.9 \cdot 10^{-5}$     | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
|              | Champ DEPL, comp. $Y$         | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-10(absolu) |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. $SIXX$ | -60.                    | 'ANALYTIQUE'      | 2 %           |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. $SIYY$ | 100.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. $SIZZ$ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-5 (absolu) |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. $SIXY$ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 2 (absolu)    |
|              | Champ EPSI_NOEU, comp. $EPXX$ | $-4.5 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|              | Champ EPSI_NOEU, comp. $EPYY$ | $5.9 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|              | Champ EPSI_NOEU, comp. $EPZZ$ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
|              | Champ EPSI_NOEU, comp. $EPXY$ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| $B$          | Champ DEPL, comp. $X$         | $4 \cdot 10^{-5}$       | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|              | Champ DEPL, comp. $Y$         | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-10(absolu) |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. $SIXX$ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 (absolu)  |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. $SIYY$ | 40.                     | 'ANALYTIQUE'      | 2 %           |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. $SIZZ$ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-5 (absolu) |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. $SIXY$ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1 (absolu)    |
|              | Champ EPSI_NOEU, comp. $EPXX$ | $-6 \cdot 10^{-5}$      | 'ANALYTIQUE'      | 12 %          |
|              | Champ EPSI_NOEU, comp. $EPYY$ | $2 \cdot 10^{-4}$       | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|              | Champ EPSI_NOEU, comp. $EPZZ$ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
|              | Champ EPSI_NOEU, comp. $EPXY$ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| $D$          | Champ DEPL, comp. $X$         | $3.69552 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|              | Champ DEPL, comp. $Y$         | $1.53073 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| $E$          | Champ DEPL, comp. $X$         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|              | Champ DEPL, comp. $Y$         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. $SIXX$ | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 7 %           |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. $SIYY$ | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 7 %           |
|              | Champ SIGM_NOEU, comp. $SIZZ$ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-5 (absolu) |

|   |                             |                         |              |               |
|---|-----------------------------|-------------------------|--------------|---------------|
|   | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXY | -80.                    | 'ANALYTIQUE' | 1 %           |
|   | Champ EPSI_NOEU, comp. EPXX | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE' | 15 %          |
|   | Champ EPSI_NOEU, comp. EPYY | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE' | 15 %          |
|   | Champ EPSI_NOEU, comp. EPZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE' | 1E-4 (absolu) |
|   | Champ EPSI_NOEU, comp. EPXY | $-5.2 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE' | 1 %           |
| F | Champ DEPL, comp. X         | $2.82843 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE' | 1 %           |
|   | Champ DEPL, comp. Y         | $2.82843 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE' | 1 %           |
|   | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXX | 20.                     | 'ANALYTIQUE' | 3 %           |
|   | Champ SIGM_NOEU, comp. SIYY | 20.                     | 'ANALYTIQUE' | 2 %           |
|   | Champ SIGM_NOEU, comp. SIZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE' | 1E-5 (absolu) |
|   | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXY | -20.                    | 'ANALYTIQUE' | 7 %           |
|   | Champ EPSI_NOEU, comp. EPXX | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE' | 5 %           |
|   | Champ EPSI_NOEU, comp. EPYY | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE' | 5 %           |
|   | Champ EPSI_NOEU, comp. EPZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE' | 1E-4 (absolu) |
|   | Champ EPSI_NOEU, comp. EPXY | $-1.3 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE' | 7 %           |

## 8 Modélisation F

---

### 8.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments `C_plan` (QUAD8 + TRIA6)

Conditions limites :

côté  $AB$  bloqué en  $dx$

côté  $EF$  bloqué normalement

pression sur  $AE$   $p=60$ .

|                  |          |          |          |
|------------------|----------|----------|----------|
| Noms des nœuds : | $A=N2$   | $B=N361$ | $C=N121$ |
|                  | $D=N584$ | $E=N155$ | $F=N503$ |

### 8.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 591

Nombre de mailles et types : 200 TRIA6, 50 QUAD8

## 8.3 Grandeurs testées et résultats

| Localisation   | Grandeur                    | Valeur de référence      | Type de référence | Tolérance      |
|----------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------|----------------|
| <b>point A</b> |                             |                          |                   |                |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | $5.9 \cdot 10^{-5}$      | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %          |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4(absolu)   |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 100.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | -60.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu)  |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 0,3 (absolu)   |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $5.9 \cdot 10^{-4}$      | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $-4.5 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu)  |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu)  |
| <b>B</b>       |                             |                          |                   |                |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | $4 \cdot 10^{-5}$        | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %          |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4(absolu)   |
| Maille 151     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 40.                      | 'ANALYTIQUE'      | 5 %            |
| Maille 151     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 (absolu)   |
| Maille 151     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 0,015 (absolu) |
| Maille 151     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 (absolu)   |
| Maille 151     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $2 \cdot 10^{-4}$        | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| Maille 151     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $-6 \cdot 10^{-5}$       | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| Maille 151     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu)  |
| Maille 151     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu)  |
| <b>E</b>       |                             |                          |                   |                |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$  | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %          |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | $-4.17193 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %          |
| M75            | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 20.                      | 'ANALYTIQUE'      | 5 %            |
| M75            | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 20.                      | 'ANALYTIQUE'      | 5 %            |
| M75            | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu)  |
| M75            | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 80.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| M75            | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $0.7 \cdot 10^{-4}$      | 'ANALYTIQUE'      | 20 %           |
| M75            | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $0.7 \cdot 10^{-4}$      | 'ANALYTIQUE'      | 20 %           |
| M75            | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu)  |
| M75            | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | $-5.2 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| <b>F</b>       |                             |                          |                   |                |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | $2.82843 \cdot 10^{-5}$  | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %          |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | $-2.82843 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %          |
| M223           | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 20.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| M223           | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 20.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| M223           | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu)  |
| M223           | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 20.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| M223           | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $0.7 \cdot 10^{-4}$      | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| M223           | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $0.7 \cdot 10^{-4}$      | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| M223           | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu)  |
| M223           | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | $-1.3 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |



## 9 Modélisation G

---

### 9.1 Caractéristiques de la modélisation

**Modélisation C\_PLAN (QUAD9)**

Conditions limites :

côté  $AB$  bloqué en  $dy$

côté  $EF$  bloqué normalement

pression sur  $AE$   $p=60$ .

|                  |          |          |          |
|------------------|----------|----------|----------|
| Noms des nœuds : | $A=N1$   | $B=N347$ | $C=N21$  |
|                  | $D=N432$ | $E=N39$  | $F=N229$ |

### 9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 441

Nombre de mailles et types : 100 QUAD9

## 9.3 Grandeurs testées et résultats

| Localisation   | Grandeur                    | Valeur de référence     | Type de référence | Tolérance     |
|----------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------|---------------|
| <b>point A</b> |                             |                         |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | $5.9 \cdot 10^{-5}$     | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4(absolu)  |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | -60.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 100.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 0,05 (absolu) |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $-4.5 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $5.9 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| <b>B</b>       |                             |                         |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | $4 \cdot 10^{-5}$       | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4(absolu)  |
| Maille M10     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 0,1(absolu)   |
| Maille M10     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 40.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M10     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| Maille M10     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 0,01 (absolu) |
| Maille M10     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $-6 \cdot 10^{-5}$      | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M10     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $2 \cdot 10^{-4}$       | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M10     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| Maille M10     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| <b>E</b>       |                             |                         |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M91     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |
| Maille M91     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |
| Maille M91     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| Maille M91     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | -80.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M91     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M91     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M91     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| Maille M91     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | $-5.2 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| <b>F</b>       |                             |                         |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | $2.82843 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | $2.82843 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
| Maille M100    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M100    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M100    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| Maille M100    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | -20                     | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
| Maille M100    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M100    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M100    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| Maille M100    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | $-1.3 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |

## 10 Modélisation H

---

### 10.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments **AXIS** (TRIA3 + QUAD4)

Conditions limites :

nœud  $F$  bloqué en  $dy$   
pression sur  $AE$   $p=60$ .

|                  |          |          |          |
|------------------|----------|----------|----------|
| Noms des nœuds : | $A=N111$ | $B=N1$   | $C=N112$ |
|                  | $D=N3$   | $E=N113$ | $F=N4$   |

### 10.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 113  
Nombre de mailles et types : 40 QUAD4, 80 TRIA3

## 10.3 Grandeurs testées et résultats

| Localisation   | Grandeur                    | Valeur de référence   | Type de référence | Tolérance     |
|----------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|---------------|
| <b>point A</b> |                             |                       |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 5,90 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
| Maille M119    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | -60.                  | 'ANALYTIQUE'      | 6 %           |
| Maille M119    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 0,                    | 'ANALYTIQUE'      | 1,1 (absolu)  |
| Maille M119    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 100.                  | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %         |
| Maille M119    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1,2 (absolu)  |
| Maille M119    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | -4.5 10 <sup>-4</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 3 %           |
| Maille M119    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| Maille M119    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 5.9 10 <sup>-4</sup>  | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M119    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| <b>B</b>       |                             |                       |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 4 10 <sup>-5</sup>    | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1(absolu)     |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 0,                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,5(absolu)   |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 40,                   | 'ANALYTIQUE'      | 1,3 %         |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,15 (absolu) |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | -6 10 <sup>-5</sup>   | 'ANALYTIQUE'      | 6 %           |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 2. 10 <sup>-4</sup>   | 'ANALYTIQUE'      | 2 %           |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| <b>E</b>       |                             |                       |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 5,90 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
| Maille M120    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | -60                   | 'ANALYTIQUE'      | 6 %           |
| Maille M120    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 0,                    | 'ANALYTIQUE'      | 1,1 (absolu)  |
| Maille M120    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 100.                  | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %         |
| Maille M120    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1,2 (absolu)  |
| Maille M120    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | -4,5 10 <sup>-4</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 3 %           |
| Maille M120    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| Maille M120    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 5-90 10 <sup>-4</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M120    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| <b>F</b>       |                             |                       |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 4 10 <sup>-5</sup>    | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
| Maille M5      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1(absolu)     |
| Maille M5      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 0,                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,5(absolu)   |
| Maille M5      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 40.                   | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M5      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,15 (absolu) |
| Maille M5      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | -6 10 <sup>-5</sup>   | 'ANALYTIQUE'      | 3 %           |
| Maille M5      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| Maille M5      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 2 10 <sup>-4</sup>    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M5      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |

## 11 Modélisation I

---

### 11.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments **AXIS** (TRIA6 + QUAD8)

Conditions limites :

Nœud  $F$  bloqué en  $dy$   
pression sur  $AE$   $p=60$ .

|                  |          |          |          |
|------------------|----------|----------|----------|
| Noms des nœuds : | $A=N8$   | $B=N174$ | $C=N5$   |
|                  | $D=N170$ | $E=N3$   | $F=N159$ |

### 11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 175  
Nombre de mailles et types : 20 QUAD8, 40 TRIA6

## 11.3 Grandeurs testées et résultats

| Localisation   | Grandeur                    | Valeur de référence   | Type de référence | Tolérance     |
|----------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|---------------|
| <b>point A</b> |                             |                       |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 5,90 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
| Maille M2      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | -60.                  | 'ANALYTIQUE'      | 6 %           |
| Maille M2      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 0,                    | 'ANALYTIQUE'      | 1,1 (absolu)  |
| Maille M2      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 100.                  | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %         |
| Maille M2      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1,2 (absolu)  |
| Maille M2      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | -4.5 10 <sup>-4</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M2      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| Maille M2      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 5.9 10 <sup>-4</sup>  | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M2      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| <b>B</b>       |                             |                       |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 4 10 <sup>-5</sup>    | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
| Maille M59     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1(absolu)     |
| Maille M59     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 0,                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,5(absolu)   |
| Maille M59     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 40,                   | 'ANALYTIQUE'      | 1,3 %         |
| Maille M59     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,15 (absolu) |
| Maille M59     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | -6 10 <sup>-5</sup>   | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M59     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| Maille M59     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 2. 10 <sup>-4</sup>   | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M59     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| <b>E</b>       |                             |                       |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 5,90 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | -60                   | 'ANALYTIQUE'      | 6 %           |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 0,                    | 'ANALYTIQUE'      | 1,1 (absolu)  |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 100.                  | 'ANALYTIQUE'      | 1,5 %         |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1,2 (absolu)  |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | -4,5 10 <sup>-4</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 5-90 10 <sup>-4</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| <b>F</b>       |                             |                       |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 4 10 <sup>-5</sup>    | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %         |
| Maille M48     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1(absolu)     |
| Maille M48     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 0,                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,5(absolu)   |
| Maille M48     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 40.                   | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M48     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,15 (absolu) |
| Maille M48     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | -6 10 <sup>-5</sup>   | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M48     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |
| Maille M48     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 2 10 <sup>-4</sup>    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M48     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-2 (absolu) |

On a comparé à la fin de ce test un chargement en rotation en axisymétrie pur avec le même chargement en Fourier mode 0. On trouve bien des résultats identiques.

Résultats issus de MACR\_LIGN\_COUP sur le segment AE :

Les tests de NON\_REGRESSION sont faits sur les tables issues de MACR\_LIGN\_COUP appliquée à un CHAMP\_GD. Ils constituent les valeurs de référence 'AUTRE\_ASTER' pour les tables issues de MACR\_LIGN\_COUP appliquée à un résultat de type mult\_elas.

| Localisation |          | Grandeur |            | Valeur de référence | Type de référence | Précision |
|--------------|----------|----------|------------|---------------------|-------------------|-----------|
| Point        | ABSC_CUR | Champ    | Composante |                     |                   |           |
| A            | 0        | DEPL     | D X        | -                   | 'NON_REGRESSION'  | -         |
| C            | 0.005    | DEPL     | D X        | -                   | 'NON_REGRESSION'  | -         |
| E            | 0.1      | DEPL     | D X        | -                   | NON_REGRESSION'   | -         |
| A            | 0        | DEPL     | D X        | 1.35511346318       | 'AUTRE_ASTER'     | -         |
| C            | 0.005    | DEPL     | D X        | 1.35531703991       | 'AUTRE_ASTER'     | -         |
| E            | 0.1      | DEPL     | D X        | 1.35511346318       | 'AUTRE_ASTER'     | -         |

On procède de même pour tester le résultat de MACR\_LIGNE\_COUPE appliquée à un concept de type comb\_fourier.

| Localisation |          | Grandeur |            | Valeur de référence | Type de référence | Précision |
|--------------|----------|----------|------------|---------------------|-------------------|-----------|
| Point        | ABSC_CUR | Champ    | Composante |                     |                   |           |
| A            | 0        | DEPL     | D X        | -                   | 'NON_REGRESSION'  | -         |
| C            | 0.005    | DEPL     | D X        | -                   | 'NON_REGRESSION'  | -         |
| E            | 0.1      | DEPL     | D X        | -                   | NON_REGRESSION'   | -         |
| A            | 0        | DEPL     | D X        | 5.8999716105E-05    | 'AUTRE_ASTER'     | -         |
| C            | 0.005    | DEPL     | D X        | 5.90000189066E-05   | 'AUTRE_ASTER'     | -         |
| E            | 0.1      | DEPL     | D X        | 5.89997161037E-05   | 'AUTRE_ASTER'     | -         |

## 12 Modélisation J

---

### 12.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments **AXIS** (QUAD9)

Conditions limites :

nœud  $F$  bloqué en  $dy$   
pression sur  $AE$   $p=60$ .

|                  |            |            |            |
|------------------|------------|------------|------------|
| Noms des nœuds : | $A = N196$ | $B = N1$   | $C = N200$ |
|                  | $D = N5$   | $E = N202$ | $F = N7$   |

### 12.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 205  
Nombre de mailles et types : 40 QUAD9



## 12.3 Grandeurs testées et résultats

| Localisation   | Grandeur                    | Valeur de référence   | Type de référence | Tolérance      |
|----------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|----------------|
| <b>point A</b> |                             |                       |                   |                |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 5,90 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %          |
| Maille M39     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | -60.                  | 'ANALYTIQUE'      | 0,5%           |
| Maille M39     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 0,                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 (absolu)   |
| Maille M39     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | -                     | 'NON_REGRESSION'  | -              |
| Maille M39     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,5 (absolu)   |
| Maille M39     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | -4.5 10 <sup>-4</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| Maille M39     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPHY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-1 (absolu)  |
| Maille M39     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 5.9 10 <sup>-4</sup>  | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| Maille M39     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-1 (absolu)  |
| <b>B</b>       |                             |                       |                   |                |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 4 10 <sup>-5</sup>    | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %          |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,02(absolu)   |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 0,                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,01(absolu)   |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | -                     | 'NON_REGRESSION'  | -              |
| Maille M1      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,005 (absolu) |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | -6 10 <sup>-5</sup>   | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPHY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-1 (absolu)  |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 2. 10 <sup>-4</sup>   | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| Maille M1      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-1 (absolu)  |
| <b>E</b>       |                             |                       |                   |                |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 5,90 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %          |
| Maille M40     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | -60                   | 'ANALYTIQUE'      | 0,5 %          |
| Maille M40     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 0,                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 (absolu)   |
| Maille M40     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | -                     | 'NON_REGRESSION'  | -              |
| Maille M40     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,05 (absolu)  |
| Maille M40     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | -4,5 10 <sup>-4</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| Maille M40     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPHY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-1 (absolu)  |
| Maille M40     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 5-90 10 <sup>-4</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| Maille M40     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-1 (absolu)  |
| <b>F</b>       |                             |                       |                   |                |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 4 10 <sup>-5</sup>    | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 %          |
| Maille M2      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,02(absolu)   |
| Maille M2      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 0,                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,01(absolu)   |
| Maille M2      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | -                     | 'NON_REGRESSION'  | -              |
| Maille M2      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 5E-3 (absolu)  |
| Maille M2      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | -6 10 <sup>-5</sup>   | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| Maille M2      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPHY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-1 (absolu)  |
| Maille M2      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 2 10 <sup>-4</sup>    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| Maille M2      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1E-1 (absolu)  |

## 13 Modélisation K

### 13.1 Caractéristiques de la modélisation

#### Eléments 3D (PENTA6 et HEXA8)

Maillage obtenu par extrusion à partir du maillage 2D ci-dessous (modélisation E)

Suivant l'axe  $Z$  : 2 couches d'éléments  
Epaisseur totale : 0.01m

Conditions limites :

nœud  $F$  :  $u_z = 0$

face  $AB$  bloquée en  $dy$

face  $EF$  bloquée normalement

face  $AE$  déplacement radial imposé à  
 $5.9 E - 5 m$

|                  |              |              |               |
|------------------|--------------|--------------|---------------|
| Noms des nœuds : | $A = No1$    | $C = No36$   | $D = No166$   |
| plan $z = 0.005$ | $A2 = No172$ | $C2 = No242$ | $D2 = No5025$ |
| plan $z = 0.01$  | $A3 = No173$ | $C3 = No243$ | $D3 = No503$  |

|                  |              |              |              |
|------------------|--------------|--------------|--------------|
| Noms des nœuds : | $E = No41$   | $H = No9$    | $G = No38$   |
| plan $z = 0.005$ | $E2 = No252$ | $H2 = No188$ | $G2 = No246$ |
| plan $z = 0.01$  | $E3 = No253$ | $H3 = No189$ | $G3 = No247$ |

### 13.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 513

Nombre de mailles et types : 400 PENTA6, 100 HEXA8 40 QUAD4 (faces peau interne)

### 13.3 Remarques

Le chargement est ici en déplacement imposé, contrairement aux autres modélisations. On teste les réactions.

## 13.4 Grandeurs testées et résultats

| Localisation | Grandeur                      | Valeur de référence | Type de référence | Tolérance |
|--------------|-------------------------------|---------------------|-------------------|-----------|
| $C$          | Champ REAC_NODA, comp FX      | 1.0884 E-3          | 'AUTRE_ASTER'     | 0,7 %     |
|              | Champ REAC_NODA , comp F<br>Y | 4.5084 E-4          | 'AUTRE_ASTER'     | 1,7 %     |
| $C_2$        | Champ REAC_NODA, comp FX      | 2.1768 E-3          | 'AUTRE_ASTER'     | 1 %       |
|              | Champ REAC_NODA , comp F<br>Y | 9.0170 E-4          | 'AUTRE_ASTER'     | 1,3 %     |
| $C_3$        | Champ REAC_NODA, comp FX      | 1.0884 E-3          | 'AUTRE_ASTER'     | 0,7 %     |
|              | Champ REAC_NODA , comp F<br>Y | 4.5084 E-4          | 'AUTRE_ASTER'     | 1,7 %     |
| $H$          | Champ REAC_NODA, comp FX      | 1.1636 E-3          | 'AUTRE_ASTER'     | 0,7 %     |
|              | Champ REAC_NODA , comp F<br>Y | 1.8429 E-4          | 'AUTRE_ASTER'     | 0,6 %     |
| $G$          | Champ REAC_NODA, comp FX      | 1.0045 E-3          | 'AUTRE_ASTER'     | 1 %       |
|              | Champ REAC_NODA , comp F<br>Y | 6.1550 E-4          | 'AUTRE_ASTER'     | 1 %       |
| $H_2$        | Champ REAC_NODA, comp FX      | 2.3272 E-3          | 'AUTRE_ASTER'     | 0,5 %     |
|              | Champ REAC_NODA , comp F<br>Y | 3.6858 E-4          | 'AUTRE_ASTER'     | 0,6 %     |
| $G_2$        | Champ REAC_NODA, comp FX      | 2.0090 E-3          | 'AUTRE_ASTER'     | 0,7 %     |
|              | Champ REAC_NODA , comp F<br>Y | 1.2310 E-3          | 'AUTRE_ASTER'     | 0,8 %     |

## 13.5 Remarques

On vérifie que les forces nodales de réactions sont nulles en tous les nœuds, sauf sur les nœuds de la surface  $AE$  et des surfaces  $EF$  et  $AB$ .

## 14 Modélisation L

---

### 14.1 Caractéristiques de la modélisation

#### Eléments 3D (PYRAM5)

Suivant l'axe  $Z$  : chaque parallélépipède est découpé en 6 pyramides  
Épaisseur totale : 0.01m

Conditions limites :

nœud  $F$  :  $u_z=0$

face  $AB$  bloquée en  $dy$

face  $EF$  bloquée normalement

pression sur la face  $AE$   $p=60$ .

Noms des nœuds :  $A=N267$   $B=N142$   $E=N29$   $F=N1$

### 14.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 342

Nombre de mailles et types : 600 PYRAM5 620 QUAD4 (faces peau interne)

## 14.3 Grandeurs testées et résultats

| Localisation   | Grandeur                    | Valeur de référence      | Type de référence | Tolérance     |
|----------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------|---------------|
| <b>point A</b> |                             |                          |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 5.90 10 <sup>-5</sup>    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| Maille M3      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | -60.                     | 'ANALYTIQUE'      | 12 %          |
| Maille M3      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 100.                     | 'ANALYTIQUE'      | 10 %          |
| Maille M3      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 2. (absolu)   |
| Maille M3      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 5. (absolu)   |
| Maille M3      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | -4.5 10 <sup>-4</sup>    | 'ANALYTIQUE'      | 11 %          |
| Maille M3      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | 5.9 10 <sup>-4</sup>     | 'ANALYTIQUE'      | 10 %          |
| Maille M3      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-1 (absolu) |
| Maille M3      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-1 (absolu) |
| <b>B</b>       |                             |                          |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 4 10 <sup>-5</sup>       | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| Maille M58     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1.(absolu)    |
| Maille M58     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 40.                      | 'ANALYTIQUE'      | 2 %           |
| Maille M58     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 0,5 (absolu)  |
| Maille M58     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 2. (absolu)   |
| Maille M58     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | -6 10 <sup>-5</sup>      | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |
| Maille M58     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | 2. 10 <sup>-4</sup>      | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M58     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-1 (absolu) |
| Maille M58     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-1 (absolu) |
| <b>E</b>       |                             |                          |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 4.17193 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | 4.17193 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M546    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 20.                      | 'ANALYTIQUE'      | 4 %           |
| Maille M546    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 20.                      | 'ANALYTIQUE'      | 60 %          |
| Maille M546    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 3 (absolu)    |
| Maille M546    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | -80.                     | 'ANALYTIQUE'      | 4 %           |
| Maille M546    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | 0.7 10 <sup>-4</sup>     | 'ANALYTIQUE'      | 35 %          |
| Maille M546    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | 0.7 10 <sup>-4</sup>     | 'ANALYTIQUE'      | 80 %          |
| Maille M546    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-1 (absolu) |
| Maille M546    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | -5.2 10 <sup>-4</sup>    | 'ANALYTIQUE'      | 4 %           |
| <b>F</b>       |                             |                          |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | 2.82843 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | 2.82843 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M599    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 20.                      | 'ANALYTIQUE'      | 6 %           |
| Maille M599    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 20.                      | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |
| Maille M599    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 0,5 (absolu)  |
| Maille M599    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 0,05 (absolu) |
| Maille M599    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | 0.7 10 <sup>-4</sup>     | 'ANALYTIQUE'      | 10 %          |
| Maille M599    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | 0.7 10 <sup>-4</sup>     | 'ANALYTIQUE'      | 10 %          |
| Maille M599    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-1 (absolu) |
| Maille M599    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | -1.3 10 <sup>-4</sup>    | 'ANALYTIQUE'      | 5 %           |

## 15 Modélisation M

---

### 15.1 Caractéristiques de la modélisation

#### Eléments 3D (PYRAM13)

Suivant l'axe  $Z$  : chaque parallélépipède est découpé en 6 pyramides  
Épaisseur totale : 0.01m

Conditions limites :

nœud  $F$  :  $u_z=0$

face  $AB$  bloquée en  $dy$

face  $EF$  bloquée normalement

pression sur la face  $AE$   $p=60$ .

Noms des nœuds :  $A=N1403$   $B=N734$   $E=N152$   $F=N4$

### 15.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1703

Nombre de mailles et types : 600 PYRAM13 620 QUAD8 (faces peau interne)

## 15.3 Grandeurs testées et résultats

| Localisation   | Grandeur                    | Valeur de référence     | Type de référence | Tolérance     |
|----------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------|---------------|
| <b>point A</b> |                             |                         |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | $5.90 \cdot 10^{-5}$    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| Maille M6      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | -60.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M6      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 100.                    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M6      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 (absolu)  |
| Maille M6      | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 (absolu)  |
| Maille M6      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $-4.5 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M6      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $5.9 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M6      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| Maille M6      | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| <b>B</b>       |                             |                         |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | $4 \cdot 10^{-5}$       | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| Maille M58     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 (absolu)  |
| Maille M58     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 40.                     | 'ANALYTIQUE'      | 0,12 %        |
| Maille M58     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 (absolu)  |
| Maille M58     | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 0,1. (absolu) |
| Maille M58     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $-6 \cdot 10^{-5}$      | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M58     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $2 \cdot 10^{-4}$       | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M58     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| Maille M58     | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| <b>E</b>       |                             |                         |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | $2.82843 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | $2.82843 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M546    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M546    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M546    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 (absolu)  |
| Maille M546    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | -80.                    | 'ANALYTIQUE'      | 0,12 %        |
| Maille M546    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M546    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 2 %           |
| Maille M546    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| Maille M546    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | $-5.2 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| <b>F</b>       |                             |                         |                   |               |
| -              | Champ DEPL, comp. X         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| -              | Champ DEPL, comp. Y         | $4.17193 \cdot 10^{-5}$ | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M599    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXX | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M599    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIYY | 20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M599    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 0,01 (absolu) |
| Maille M599    | Champ SIGM_ELNO, comp. SIXY | -20                     | 'ANALYTIQUE'      | 0,12 %        |
| Maille M599    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXX | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M599    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPYY | $0.7 \cdot 10^{-4}$     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |
| Maille M599    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPZZ | 0.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu) |
| Maille M599    | Champ EPSI_ELNO, comp. EPXY | $-1.3 \cdot 10^{-4}$    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %           |

## 16 Modélisation N

### 16.1 Caractéristiques de la modélisation

#### Eléments 3D (PENTA15 et HEXA20)

Maillage obtenu par extrusion à partir d'un maillage 2D ressemblant au maillage ci-dessous ( 8 éléments dans la direction radiale, 4 + 4 éléments dans la direction circonférentielle) et dupliqué pour avoir une section complète du cylindre (sur 360°).

Suivant l'axe  $Z$  : 1 couche d'éléments  
Epaisseur totale : 0.01m

Conditions limites :

face  $AB$  bloquée en  $dy$   
face  $EF$  bloquée normalement

pression sur la face  $AE$   $p=60$ .  
effet de fond sur les sections  $p=60$ .

Noms des nœuds :  $A=N5349$   $B=N6092$   $C=N433$   
 $D=N441$   $E=N2180$   $F=N1632$

### 16.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8832  
Nombre de mailles et types : 1024 PENTA15, 512 HEXA20, 1176 QUAD8 et 2048 TRIA6.

### 16.3 Remarques

Contrairement aux modélisations précédentes, on prend en compte ici l'effet de fond s'appliquant sur les sections aux extrémités du cylindre.



## 16.4 Grandeurs testées et résultats

| Localisation   | Grandeur                           | Valeur de référence      | Type de référence | Tolérance     |
|----------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------|---------------|
| <i>point A</i> |                                    |                          |                   |               |
|                | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | 5.60 10 <sup>-5</sup>    | 'NON_DEFINI '     | 0,1 %         |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | 0.                       | 'NON_DEFINI '     | 1E-4 (absolu) |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | -60.                     | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 100.                     | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 20.                      | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | 0.                       | 'NON_DEFINI '     | 1E-4 (absolu) |
| <i>B</i>       |                                    |                          |                   |               |
|                | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | 3.4 10 <sup>-5</sup>     | 'NON_DEFINI '     | 0,1 %         |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | 0.                       | 'NON_DEFINI '     | 1E-4 (absolu) |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | 0.                       | 'NON_DEFINI '     | 0,1(absolu)   |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 40.                      | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 20.                      | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | 0.                       | 'NON_DEFINI '     | 1E-4 (absolu) |
| <i>E</i>       |                                    |                          |                   |               |
|                | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | 2.82843 10 <sup>-5</sup> | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | 2.82843 10 <sup>-5</sup> | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | 20.                      | 'NON_DEFINI '     | 2 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 20.                      | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 20.                      | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | -80.                     | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
| <i>F</i>       |                                    |                          |                   |               |
|                | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | 4.17193 10 <sup>-5</sup> | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | 4.17193 10 <sup>-5</sup> | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | 20.                      | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 20.                      | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 20.                      | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | -20.                     | 'NON_DEFINI '     | 1 %           |

## 17 Modélisation O

---

### 17.1 Caractéristiques de la modélisation

#### Eléments C\_PLAN (QUAD8 + TRIA6)

Maillage 2D ressemblant au maillage ci-dessous (8 éléments dans la direction radiale, 4+4 éléments dans la direction circonférentielle) et dupliqué pour avoir une section complète du cylindre (sur 360°).

Conditions limites :

côté  $AB$  bloqué en  $dx$

côté  $EF$  bloqué normalement

pression sur  $AE$   $p=60$ .

|                  |             |             |             |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| Noms des nœuds : | $A = N249$  | $B = N992$  | $C = N1667$ |
|                  | $D = N1588$ | $E = N3776$ | $F = N3228$ |

### 17.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 3840

Nombre de mailles et types : 1026 TRIA6, 512 QUAD8

## 17.3 Grandeurs testées et résultats

| Localisation   | Grandeur                           | Valeur de référence      | Type de référence | Tolérance      |
|----------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------------|
| <hr/>          |                                    |                          |                   |                |
| point <i>A</i> |                                    |                          |                   |                |
|                | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | 5.90 10 <sup>-5</sup>    | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu)  |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | -60.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 100.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu)  |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 0,3 (absolu)   |
| <hr/>          |                                    |                          |                   |                |
| <i>B</i>       |                                    |                          |                   |                |
|                | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | 4 10 <sup>-5</sup>       | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu)  |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 0,1 (absolu)   |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 40.                      | 'ANALYTIQUE'      | 0,5 %          |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 0,015 (absolu) |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 0,1. (absolu)  |
| <hr/>          |                                    |                          |                   |                |
| <i>E</i>       |                                    |                          |                   |                |
|                | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | 4.17193 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | 4.17193 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | 20.                      | 'ANALYTIQUE'      | 5 %            |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 20.                      | 'ANALYTIQUE'      | 5 %            |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu)  |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | -80                      | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
| <hr/>          |                                    |                          |                   |                |
| <i>F</i>       |                                    |                          |                   |                |
|                | Champ DEPL, comp. <i>X</i>         | 2.82843 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
|                | Champ DEPL, comp. <i>Y</i>         | 2.82843 10 <sup>-5</sup> | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXX</i> | 20.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIYY</i> | 20.                      | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIZZ</i> | 0.                       | 'ANALYTIQUE'      | 1E-4 (absolu)  |
|                | Champ SIGM_NOEU, comp. <i>SIXY</i> | -20.                     | 'ANALYTIQUE'      | 1 %            |

## 18 Modélisation P

### 18.1 Caractéristiques de la modélisation

#### Eléments 3D (PENTA15 et HEXA20) – même maillage que la modélisation N

Maillage obtenu par extrusion à partir d'un maillage 2D ressemblant au maillage ci-dessous (8 éléments dans la direction radiale, 4+4 éléments dans la direction circonférentielle) et dupliqué pour avoir une section complète du cylindre (sur 360°).

Suivant l'axe  $Z$  : 1 couche d'éléments  
Epaisseur totale : 0.01m

Conditions limites :

face  $EF$  bloquée normalement

face  $AB$  bloquée en  $dy$

pression sur la face  $AE$   $fp$

effet de fond sur les sections  $fp$

Avec  $fp$  : pression fonction linéaire du temps valant 60. à  $t=1s$  et 120. à  $t=2s$

Noms des nœuds :  $A=N5349$   $B=N6092$   $C=N433$   
 $D=N441$   $E=N2180$   $F=N1632$

### 18.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8832

Nombre de mailles et types : 1024 PENTA15, 512 HEXA20, 1176 QUAD8 et 2048 TRIA6.

### 18.3 Remarques

Contrairement à la modélisation N, on teste ici une pression et un effet de fond variables en fonction du temps. Une variation linéaire de la pression entraîne une variation linéaire des contraintes.

## 18.4 Grandeurs testées et résultats

| Localisation   | Grandeur                    | Valeur de référence   | Type de référence | Tolérance      |
|----------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|----------------|
| <b>point A</b> |                             |                       |                   |                |
| Instant 1.0    | Champ DEPL, comp. X         | 5.60 10 <sup>-5</sup> | 'NON_DEFINI '     | 0,1 %          |
| Instant 1.0    | Champ DEPL, comp. Y         | 0.                    | 'NON_DEFINI '     | 1E-10 (absolu) |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXX | -60.                  | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIYY | 100.                  | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIZZ | 20.                   | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXY | 0.                    | 'NON_DEFINI '     | 1E-4 (absolu)  |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXX | -120.                 | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIYY | 200.                  | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIZZ | 40.                   | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXY | 0.                    | 'NON_DEFINI '     | 1E-4 (absolu)  |
| <b>B</b>       |                             |                       |                   |                |
| Instant 1.0    | Champ DEPL, comp. X         | 3.4 10 <sup>-5</sup>  | 'NON_DEFINI '     | 0,1 %          |
| Instant 1.0    | Champ DEPL, comp. Y         | 0.                    | 'NON_DEFINI '     | 1E-10 (absolu) |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXX | 0.                    | 'NON_DEFINI '     | 0,1(absolu)    |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIYY | 40.                   | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIZZ | 20.                   | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXY | 0.                    | 'NON_DEFINI '     | 1E-4 (absolu)  |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXX | 0.                    | 'NON_DEFINI '     | 0,1(absolu)    |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIYY | 80.                   | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIZZ | 40.                   | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXY | 0.                    | 'NON_DEFINI '     | 1E-4 (absolu)  |
| <b>E</b>       |                             |                       |                   |                |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXX | 20.                   | 'NON_DEFINI '     | 2 %            |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIYY | 20.                   | 'NON_DEFINI '     | 2 %            |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIZZ | 20.                   | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXY | -80.                  | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXX | 40.                   | 'NON_DEFINI '     | 2 %            |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIYY | 40.                   | 'NON_DEFINI '     | 2 %            |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIZZ | 40.                   | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXY | -160.                 | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| <b>F</b>       |                             |                       |                   |                |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXX | 20.                   | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIYY | 20.                   | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIZZ | 20.                   | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 1.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXY | -20.                  | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXX | 40.                   | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIYY | 40.                   | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIZZ | 40.                   | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |
| Instant 2.0    | Champ SIGM_NOEU, comp. SIXY | -40.                  | 'NON_DEFINI '     | 1 %            |

## 19 Synthèse des résultats

### Récapitulatif des erreurs max en %

| 3D            | Localisation | mod A  | mod B    | mod C | mod D | mod L | mod M | mod N    | mod P    |
|---------------|--------------|--------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|
| elem          |              | pe6,h8 | pe15,h20 | te4   | te10  | py5   | py13  | pe15,h20 | pe15,h20 |
| geom          |              | 45°    | 45°      | 45°   | 45°   | 45°   | 45°   | 360°     | 360°     |
| nb<br>no      |              | 1922   | 2115     | 1115  | 1395  | 342   | 1703  | 8832     | 8832     |
| Dépl.         | A, E         | 0.08   | 0.09     | 0.17  | 0.04  | 0.21  | 0.00  | 0.00     | 0.00     |
|               | B, F         | 0.10   | 0.07     | 0.30  | 0.04  | 0.16  | 0.00  | 0.00     | 0.00     |
| $\sigma_{xx}$ | A, E         | 4.59   | 0.39     | 10.45 | 4.41  | 11.74 | 0.11  | 1.64     | 1.64     |
|               | B, F         | 5.24   | 0.07     | 7.78  | 0.95  | 5.24  | 0.11  | 0.09     | 0.09     |
| $\sigma_{yy}$ | A, E         | 5.70   | 0.92     | 9.46  | 1.80  | 57.57 | 0.81  | 1.64     | 1.64     |
|               | B, F         | 1.89   | 0.01     | 2.46  | 0.49  | 4.75  | 0.08  | 0.09     | 0.09     |
| $\sigma_{zz}$ | A, E         | Bon    | Bon      | Bon   | Bon   | Bon   | Bon   | 0.87     | 0.87     |
|               | B, F         | Bon    | Bon      | Bon   | Bon   | Bon   | Bon   | 0.04     | 0.04     |
| $\sigma_{xy}$ | A, E         | 0.15   | 0.26     | 2.89  | 0.27  | 3.46  | 0.07  | 0.03     | 0.03     |
|               | B, F         | 0.90   | 0.06     | 0.81  | 0.28  | 4.95  | 0.09  | 0.01     | 0.01     |

| C PLAN                    | Localisation | mod E       | mod F       | mod G | mod O       |
|---------------------------|--------------|-------------|-------------|-------|-------------|
| Type d'éléments           |              | tria3,quad4 | tria6,quad8 | quad9 | tria6,quad8 |
| Géométrie modélisée       |              | 45°         | 45°         | 45°   | 360°        |
| Nombre de noeuds          |              | 961         | 591         | 441   | 384         |
| Déplacements              | A, E         | 0.07        | 0.09        | 0.00  | 0.01        |
|                           | B, F         | 0.09        | 0.07        | 0.00  | 0.00        |
| Contraintes $\sigma_{xx}$ | A, E         | 4.65        | 0.39        | 0.27  | 1.44        |
|                           | B, F         | 5.19        | 0.06        | 0.02  | 0.08        |
| Contraintes $\sigma_{yy}$ | A, E         | 5.68        | 0.90        | 0.16  | 1.44        |
|                           | B, F         | 1.40        | 0.04        | 0.05  | 0.08        |
| Contraintes $\sigma_{zz}$ | A, E         | Bon         | Bon         | Bon   | Bon         |
|                           | B, F         | Bon         | Bon         | Bon   | Bon         |
| Contraintes $\sigma_{xy}$ | A, E         | 0.16        | 0.23        | 0.20  | 0.10        |
|                           | B, F         | 1.23        | 0.07        | 0.09  | 0.00        |

| AXIS                      | Localisation | mod H       | mod I       | mod J |
|---------------------------|--------------|-------------|-------------|-------|
| Type d'éléments           |              | tria3,quad4 | tria6,quad8 | quad9 |
| Nombre de noeuds          |              | 113         | 175         | 205   |
| Déplacements              | A, E         | 0.01        | 0.00        | 0.00  |
|                           | B, F         | 0.01        | 0.00        | 0.00  |
| Contraintes $\sigma_{xx}$ | A, E         | 5.66        | 0.17        | 0.17  |
|                           | B, F         | Bon         | Bon         | Bon   |
| Contraintes $\sigma_{yy}$ | A, E         | Bon         | Bon         | Bon   |
|                           | B, F         | Bon         | Bon         | Bon   |
| Contraintes $\sigma_{zz}$ | A, E         | 1.29        | 0.09        | 0.09  |
|                           | B, F         | 1.00        | 0.07        | 0.02  |
| Contraintes $\sigma_{xy}$ | A, E         | Bon         | Bon         | Bon   |
|                           | B, F         | Bon         | Bon         | Bon   |

- Les résultats sont plus précis avec des éléments d'ordre 2.
- Le problème est plus adapté à une modélisation axisymétrique. Les résultats sont meilleurs.
- Les maillages restent insuffisants pour les éléments 3D d'ordre 1 : contraintes et déformations des modélisations A, C, E et L (surtout pour la modélisation L en PYRAM5).
- Les pyramides donnent des résultats analogues aux autres éléments 3D, à maillage équivalent.
- Les modélisations N et P avec effet de fond et pression constants ou variables donnent de bon résultats.