

---

## 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).

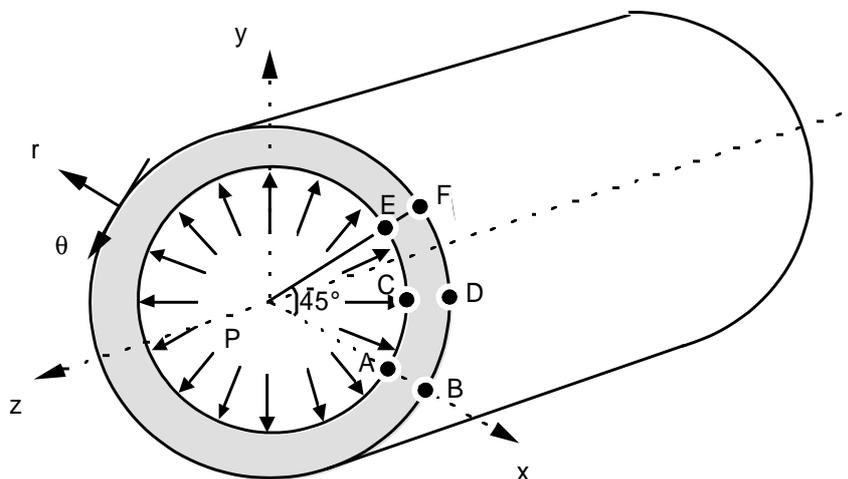
Les fonctionnalités testées sont :

- pression répartie,
- effet de fond (avec pression fixe ou variable),
- déplacements imposés,
- matrices de rigidité,
- déformations et contraintes aux nœuds,
- réactions nodales (modélisation K).

Il y a 16 modélisations.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie



Rayon interne  $a = 0.1$  m  
Rayon externe  $b = 0.2$  m

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  $E = 2.10^5$  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 MPa à  $t = 1.s$  à 120 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 :

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

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

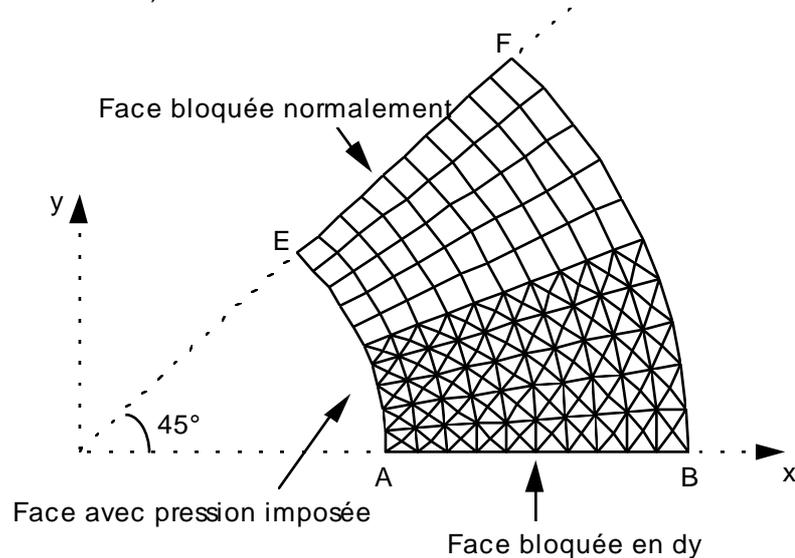
- 1 Guide VPCS. SSLV04/89
- 2 Y. C. FUNG. Foundations of solid mechanics. Prentice-hall, inc. Englewood Cliffs. NJ. 1965  
p. 243 à 245.
- 3 J. COURBON. Résistance des matériaux p 649

## 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 déraffinement 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 :  $A=N993$   $B=N1443$   $C=NI$   
 $D=N31$   $E=N496$   $F=N495$

### 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	Aster	% différence
<i>A</i>	<i>u</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8950 \cdot 10^{-5}$	0.08
	<i>v</i>	0.	<i>eps</i>	-
	$\sigma_{xx}$	-60.	-59.2225	1.30
	$\sigma_{yy}$	100.	100.4159	0.42
	$\sigma_{zz}$	0.	0.3093	-
	$\sigma_{xy}$	0.	-1.0442	-
	$\varepsilon_{xx}$	$-4.5 \cdot 10^{-4}$	$-4.472 \cdot 10^{-4}$	0.62
	$\varepsilon_{yy}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.904 \cdot 10^{-4}$	0.08
	$\varepsilon_{xy}$	0.	$-6.788 \cdot 10^{-5}$	-
	<i>B</i>	<i>u</i>	$4 \cdot 10^{-5}$	$3.9959 \cdot 10^{-5}$
<i>v</i>		0.	<i>eps</i>	-
$\sigma_{xx}$		0.	-1.7246	-
$\sigma_{yy}$		40.	39.2451	1.89
$\sigma_{zz}$		0.	-0.3761	-
$\sigma_{xy}$		0.	-0.2659	-
$\varepsilon_{xx}$		$-0.6 \cdot 10^{-4}$	$-6.692 \cdot 10^{-5}$	11.54
$\varepsilon_{yy}$		$2 \cdot 10^{-4}$	$1.994 \cdot 10^{-4}$	0.31
$\varepsilon_{xy}$		0.	$-1.728 \cdot 10^{-6}$	-
<i>E</i>		<i>u</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.1708 \cdot 10^{-5}$
	<i>v</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.1708 \cdot 10^{-5}$	0.03
	$\sigma_{xx}$	20.	19.0824	4.59
	$\sigma_{yy}$	20.	21.1394	5.70
	$\sigma_{zz}$	0.	0.0870	-
	$\sigma_{xy}$	-80.	-79.8831	0.15
	$\varepsilon_{xx}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.636 \cdot 10^{-4}$	9.18
	$\varepsilon_{yy}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.769 \cdot 10^{-4}$	9.92
	$\varepsilon_{xy}$	$-5.2 \cdot 10^{-4}$	$-5.192 \cdot 10^{-4}$	0.15
	<i>F</i>	<i>u</i>	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.8302 \cdot 10^{-5}$
<i>v</i>		$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.8302 \cdot 10^{-5}$	0.06
$\sigma_{xx}$		20.	18.9528	5.24
$\sigma_{yy}$		20.	19.9104	0.45
$\sigma_{zz}$		0.	0.1198	-
$\sigma_{xy}$		-20.	-20.1809	0.90
$\varepsilon_{xx}$		$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.647 \cdot 10^{-4}$	7.54
$\varepsilon_{yy}$		$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.709 \cdot 10^{-4}$	1.35
$\varepsilon_{xy}$		$-1.3 \cdot 10^{-4}$	$-1.312 \cdot 10^{-4}$	0.90

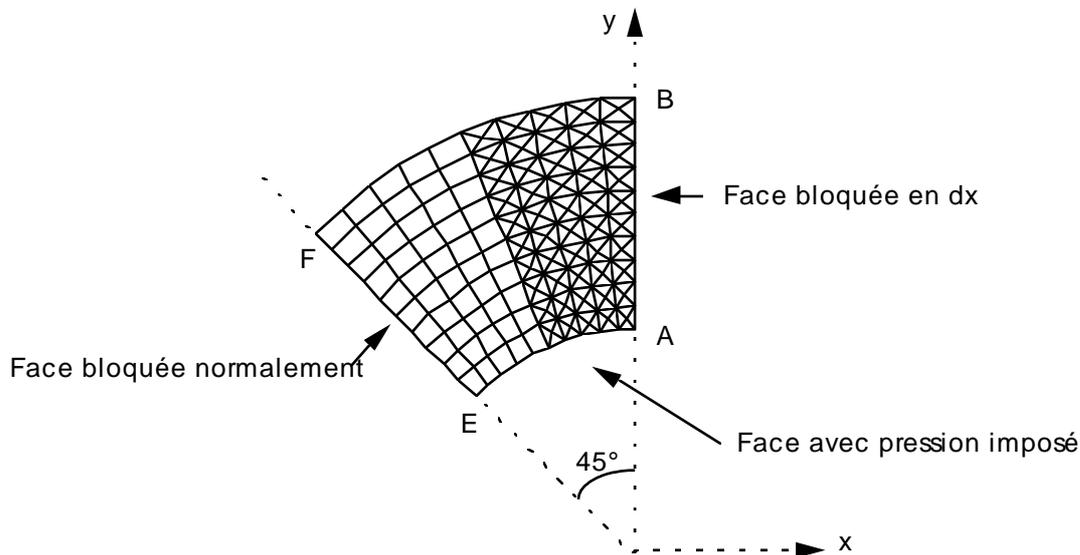
Localisation	Grandeur	Référence	Tolérance	
<b>Maille M1380, point A</b>				
SIRO_ELEM	SIG_NX	60.0	2.0%	
Contrainte normale à la face de l'élément	SIG_NY	0.0	1.0	
	SIG_NZ	0.0	0.01	
	SIG_N	-60.0	2.0%	
	SIRO_ELEM	SIG_TX	0.0	0.01
Contrainte tangentielle dans le plan de l'élément	SIG_TY	0.0	1.0%	
	SIG_TZ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

## 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	Aster	% différence
<i>A</i>	<i>u</i>	0.	eps	-
	<i>v</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8944 \cdot 10^{-5}$	-0.09
	$\sigma_{xx}$	100.	99.6056	-0.39
	$\sigma_{vv}$	-60.	-59.4473	-0.92
	$\sigma_{zz}$	0.	0.0196	-
	$\sigma_{xv}$	0.	0.2481	-
	$\varepsilon_{xx}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.87 \cdot 10^{-4}$	-0.48
	$\varepsilon_{vv}$	$-4.5 \cdot 10^{-4}$	$-4.47 \cdot 10^{-4}$	-0.74
	$\varepsilon_{xv}$	0.	$1.61 \cdot 10^{-6}$	-
	<i>B</i>	<i>u</i>	0.	eps
<i>v</i>		$4 \cdot 10^{-5}$	$3.9974 \cdot 10^{-5}$	-0.07
$\sigma_{xx}$		40.	39.9711	0.07
$\sigma_{vv}$		0.	0.0781	-
$\sigma_{zz}$		0.	$5.7992 \cdot 10^{-3}$	-
$\sigma_{xv}$		0.	-0.0182	-
$\varepsilon_{xx}$		$2 \cdot 10^{-4}$	$1.997 \cdot 10^{-4}$	-0.13
$\varepsilon_{vv}$		$-0.6 \cdot 10^{-4}$	$-0.596 \cdot 10^{-4}$	-0.67
$\varepsilon_{xv}$		0.	$-1.1810 \cdot 10^{-7}$	-
<i>E</i>		<i>u</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.1680 \cdot 10^{-5}$
	<i>v</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.1680 \cdot 10^{-5}$	-0.09
	$\sigma_{xx}$	20.	20.0515	0.26
	$\sigma_{vv}$	20.	20.0264	0.13
	$\sigma_{zz}$	0.	-0.0155	-
	$\sigma_{xv}$	80.	79.7918	-0.26
	$\varepsilon_{xx}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.702 \cdot 10^{-4}$	0.34
	$\varepsilon_{vv}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.701 \cdot 10^{-4}$	0.11
	$\varepsilon_{xv}$	$5.2 \cdot 10^{-4}$	$5.19 \cdot 10^{-4}$	-0.26
	<i>F</i>	<i>u</i>	$-2.82843 \cdot 10^{-5}$	$-2.82656 \cdot 10^{-5}$
<i>v</i>		$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82656 \cdot 10^{-5}$	-0.07
$\sigma_{xx}$		20.	20.0099	0.05
$\sigma_{vv}$		20.	19.9980	-0.01
$\sigma_{zz}$		0.	$-3.90 \cdot 10^{-4}$	-
$\sigma_{xv}$		20.	20.0122	0.06
$\varepsilon_{xx}$		$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.7005 \cdot 10^{-4}$	0.08
$\varepsilon_{vv}$		$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.6997 \cdot 10^{-4}$	-0.03
$\varepsilon_{xv}$		$-1.3 \cdot 10^{-4}$	$-1.3008 \cdot 10^{-4}$	0.06

Localisation	Grandeur	Référence	Tolérance
<b>Maille MA751, point A</b>			
SIRO_ELEM	<i>SIG_NX</i>	0.0	3.
Contrainte normale à la face de l'élément	<i>SIG_NY</i>	60.0	0.5%
	<i>SIG_NZ</i>	0.0	0.01
SIRO_ELEM	<i>SIG_TX</i>	0.0	0.1
Contrainte tangentielle dans le plan de l'élément	<i>SIG_TY</i>	0.0	0.1
	<i>SIG_TZ</i>	0.0	0.1
SIRO_ELEM	<i>SIG_T1X</i>	0.0	0.01
Première valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément	<i>SIG_T1Y</i>	0.0	0.01
	<i>SIG_T1Z</i>	0.0	0.05
SIRO_ELEM	<i>SIG_T2X</i>	100.0	0.15%
Deuxième valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément	<i>SIG_T2Y</i>	0.0	4.5
	<i>SIG_T2Z</i>	0.0	0.20
<b>Maille MA769, point E</b>			
SIRO_ELEM	<i>SIG_NX</i>	-42.426	6.0%
Contrainte normale à la face de l'élément	<i>SIG_NY</i>	42.426	4.0%
	<i>SIG_NZ</i>	0.0	0.01
SIRO_ELEM	<i>SIG_TX</i>	0.0	0.01
Contrainte tangentielle dans le plan de l'élément	<i>SIG_TY</i>	0.0	0.01
	<i>SIG_TZ</i>	0.0	0.03
SIRO_ELEM	<i>SIG_T1X</i>	0.0	0.01
Première valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément	<i>SIG_T1Y</i>	0.0	0.01
	<i>SIG_T1Z</i>	0.0	0.01
SIRO_ELEM	<i>SIG_T2X</i>	70.711	3.5%
Deuxième valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément	<i>SIG_T2Y</i>	70.711	4.5%
	<i>SIG_T2Z</i>	0.0	0.1

## 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  
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 :  $A=N165$        $B=N4$        $C=N209$   
 $D=N82$        $E=N244$        $F=N1068$

### 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	Référence	Aster	% différence
<i>A</i>	<i>u</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8901 \cdot 10^{-5}$	- 0.17
	<i>v</i>	0.	eps	-
	$\sigma_{xx}$	-60.	- 57.2290	- 4.62
	$\sigma_{vv}$	100.	97.8711	- 2.13
	$\sigma_{zz}$	0.	0.0568	-
	$\sigma_{xv}$	0.	- 2.6589	-
	$\varepsilon_{xx}$	$-4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.33 \cdot 10^{-4}$	- 3.77
	$\varepsilon_{vv}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.75 \cdot 10^{-4}$	- 2.52
	$\varepsilon_{xv}$	0.	$- 1.73 \cdot 10^{-5}$	-
<i>B</i>	<i>u</i>	$4 \cdot 10^{-5}$	$3.9878 \cdot 10^{-5}$	- 0.30
	<i>v</i>	0.	eps	-
	$\sigma_{xx}$	0.	- 1.5296	-
	$\sigma_{vv}$	40.	40.9839	2.46
	$\sigma_{zz}$	0.	- 0.1006	-
	$\sigma_{xv}$	0.	- 0.8513	-
	$\varepsilon_{xx}$	$-0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 6.897 \cdot 10^{-4}$	14.95
	$\varepsilon_{vv}$	$2. \cdot 10^{-4}$	$2.074 \cdot 10^{-4}$	3.68
	$\varepsilon_{xv}$	0.	$- 5.534 \cdot 10^{-5}$	-
<i>E</i>	<i>u</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.1655 \cdot 10^{-5}$	- 0.15
	<i>v</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.1655 \cdot 10^{-5}$	- 0.15
	$\sigma_{xx}$	20.	17.9096	- 10.45
	$\sigma_{vv}$	20.	21.8929	9.46
	$\sigma_{zz}$	0.	- 0.3679	-
	$\sigma_{xv}$	- 80.	- 77.6897	- 2.89
	$\varepsilon_{xx}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.573 \cdot 10^{-4}$	- 18.20
	$\varepsilon_{vv}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.832 \cdot 10^{-4}$	18.79
	$\varepsilon_{xv}$	$- 5.2 \cdot 10^{-4}$	$- 5.050 \cdot 10^{-4}$	- 2.89
<i>F</i>	<i>u</i>	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.8251 \cdot 10^{-5}$	- 0.12
	<i>v</i>	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.8251 \cdot 10^{-5}$	- 0.12
	$\sigma_{xx}$	20.	18.4444	- 7.78
	$\sigma_{vv}$	20.	19.8876	- 0.56
	$\sigma_{zz}$	0.	- 0.3910	-
	$\sigma_{xv}$	- 20.	- 20.1631	0.81
	$\varepsilon_{xx}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.630 \cdot 10^{-4}$	- 10.05
	$\varepsilon_{vv}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.723 \cdot 10^{-4}$	3.35
	$\varepsilon_{xv}$	$- 1.3 \cdot 10^{-4}$	$- 1.311 \cdot 10^{-4}$	0.81

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



## 6.3 Grandeurs testées et résultats

Localisation	Grandeur	Référence	Aster	% différence
<i>A</i>	<i>u</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8974 \cdot 10^{-5}$	- 0.04
	<i>v</i>	0.	<i>eps</i>	-
	$\sigma_{xx}$	- 60.	- 60.3816	0.64
	$\sigma_{vv}$	100.	99.1907	- 0.81
	$\sigma_{zz}$	0.	- 0.9707	-
	$\sigma_{xv}$	0.	- 0.2979	-
	$\varepsilon_{xx}$	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.49 \cdot 10^{-4}$	- 0.17
	$\varepsilon_{vv}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.88 \cdot 10^{-4}$	- 0.34
	$\varepsilon_{xv}$	0.	$- 1.94 \cdot 10^{-6}$	-
<i>B</i>	<i>u</i>	$4 \cdot 10^{-5}$	$3.9989 \cdot 10^{-5}$	- 0.03
	<i>v</i>	0.	<i>eps</i>	-
	$\sigma_{xx}$	0.	0.0388	-
	$\sigma_{vv}$	40.	40.0725	0.18
	$\sigma_{zz}$	0.	- 0.0046	-
	$\sigma_{xv}$	0.	0.1634	-
	$\varepsilon_{xx}$	$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 0.599 \cdot 10^{-4}$	- 0.15
	$\varepsilon_{vv}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2.003 \cdot 10^{-4}$	0.16
	$\varepsilon_{xv}$	0.	$1.062 \cdot 10^{-6}$	-
<i>E</i>	<i>u</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.17021 \cdot 10^{-5}$	0.04
	<i>v</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.17021 \cdot 10^{-5}$	0.04
	$\sigma_{xx}$	20.	19.1178	- 4.41
	$\sigma_{vv}$	20.	19.6399	- 1.80
	$\sigma_{zz}$	0.	- 1.0206	-
	$\sigma_{xv}$	- 80.	- 79.7804	- 0.27
	$\varepsilon_{xx}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.677 \cdot 10^{-4}$	- 3.34
	$\varepsilon_{vv}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.711 \cdot 10^{-4}$	1.50
	$\varepsilon_{xv}$	$- 5.2 \cdot 10^{-4}$	$- 5.186 \cdot 10^{-4}$	- 0.27
<i>F</i>	<i>u</i>	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82718 \cdot 10^{-5}$	- 0.04
	<i>v</i>	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82718 \cdot 10^{-5}$	- 0.04
	$\sigma_{xx}$	20.	20.1903	0.95
	$\sigma_{vv}$	20.	19.9023	- 0.49
	$\sigma_{zz}$	0.	- 0.0016	-
	$\sigma_{xv}$	- 20.	- 20.0570	0.28
	$\varepsilon_{xx}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.711 \cdot 10^{-4}$	1.57
	$\varepsilon_{vv}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.692 \cdot 10^{-4}$	- 1.10
	$\varepsilon_{xv}$	$- 1.3 \cdot 10^{-4}$	$- 1.304 \cdot 10^{-4}$	0.28

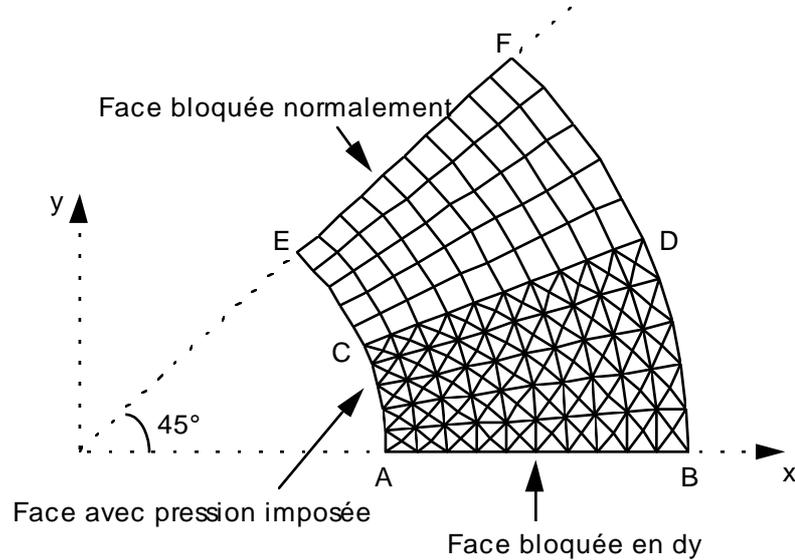
Localisation	Grandeur	Référence	Tolérance
Maille M1111, point A			
SIRO_ELEM	SIG_NX	60.0	1.0%
Contrainte normale à la face de l'élément	SIG_NY	0.0	3.0
	SIG_NZ	0.0	1.0
	SIRO_ELEM	SIG_TX	0.0
Contrainte tangentielle dans le plan de l'élément	SIG_TY	0.0	2.5
	SIG_TZ	0.0	1.0
	SIRO_ELEM	SIG_T1X	0.0
Première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



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

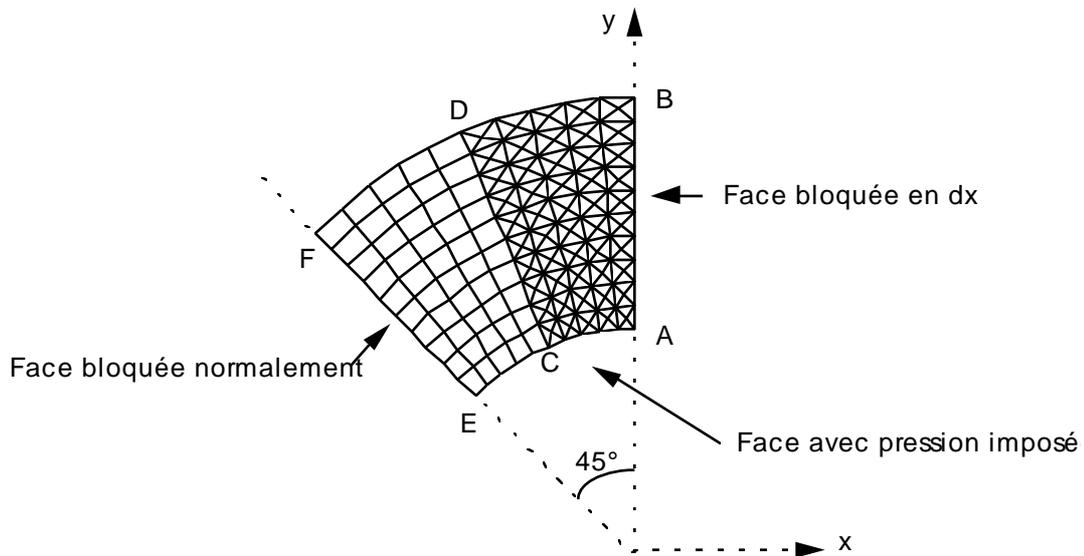
## 7.4 Grandeurs testées et résultats

Localisation	Grandeur	Référence	Aster	% différence
<i>A</i>	<i>u</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8957 \cdot 10^{-5}$	- 0.07
	<i>v</i>	0.	eps	-
	$\sigma_{xx}$	- 60.	- 59.3645	- 1.06
	$\sigma_{yy}$	100.	100.2653	0.26
	$\sigma_{zz}$	0.	0.	-
	$\sigma_{xy}$	0.	- 1.0472	-
	$\varepsilon_{xx}$	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.472 \cdot 10^{-4}$	- 0.62
	$\varepsilon_{yy}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.904 \cdot 10^{-4}$	0.06
	$\varepsilon_{xy}$	0.	$- 6.807 \cdot 10^{-6}$	-
<i>B</i>	<i>u</i>	$4. \cdot 10^{-5}$	$3.9965 \cdot 10^{-5}$	- 0.09
	<i>v</i>	0.	eps	-
	$\sigma_{xx}$	0.	- 1.4986	-
	$\sigma_{yy}$	40.	39.4415	- 1.40
	$\sigma_{zz}$	0.	0.	-
	$\sigma_{xy}$	0.	- 0.2658	-
	$\varepsilon_{xx}$	$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 0.667 \cdot 10^{-5}$	11.09
	$\varepsilon_{yy}$	$2. \cdot 10^{-4}$	$1.995 \cdot 10^{-4}$	- 0.27
	$\varepsilon_{xy}$	0.	$- 1.728 \cdot 10^{-6}$	-
<i>E</i>	<i>u</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.17101 \cdot 10^{-5}$	- 0.02
	<i>v</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.17101 \cdot 10^{-5}$	- 0.02
	$\sigma_{xx}$	20.	19.0706	- 4.65
	$\sigma_{yy}$	20.	21.1354	5.68
	$\sigma_{zz}$	0.	0.	-
	$\sigma_{xy}$	- 80.	- 79.8720	- 0.16
	$\varepsilon_{xx}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.636 \cdot 10^{-4}$	- 9.07
	$\varepsilon_{yy}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.771 \cdot 10^{-4}$	10.10
	$\varepsilon_{xy}$	$- 5.2 \cdot 10^{-4}$	$- 5.192 \cdot 10^{-4}$	- 0.16
<i>F</i>	<i>u</i>	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82996 \cdot 10^{-5}$	0.05
	<i>v</i>	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82996 \cdot 10^{-5}$	0.05
	$\sigma_{xx}$	20.	18.9626	- 5.19
	$\sigma_{yy}$	20.	19.8483	- 0.76
	$\sigma_{zz}$	0.	0.	-
	$\sigma_{xy}$	- 20.	- 20.2466	1.23
	$\varepsilon_{xx}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.650 \cdot 10^{-4}$	- 7.08
	$\varepsilon_{yy}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.708 \cdot 10^{-4}$	1.14
	$\varepsilon_{xy}$	$- 1.3 \cdot 10^{-4}$	$- 1.316 \cdot 10^{-4}$	1.23

## 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

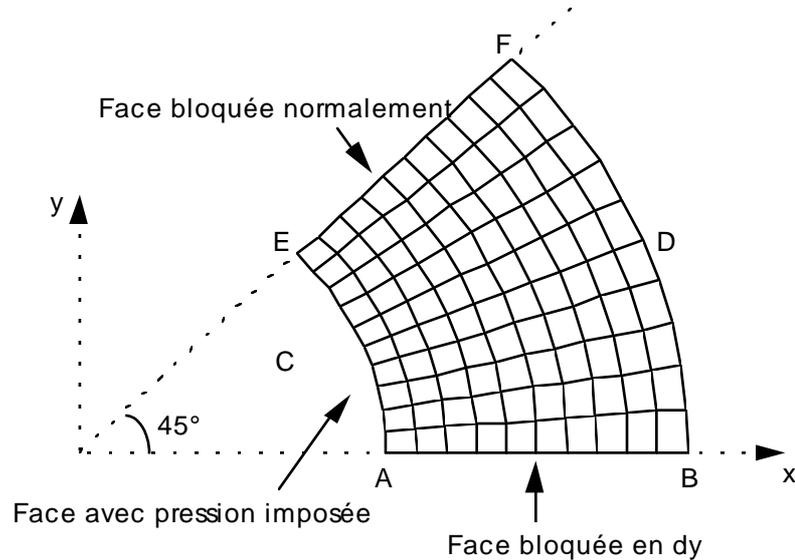
## 8.4 Grandeurs testées et résultats

Localisation	Grandeur	Référence	Aster	% différence
<i>A</i>	<i>u</i>	0.	0.	-
	<i>v</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8945 \cdot 10^{-5}$	-0.09
	$\sigma_{xx}$	100.	99.6095	-0.39
	$\sigma_{vv}$	-60.	-59.4620	-0.90
	$\sigma_{zz}$	0.	0.	-
	$\sigma_{xv}$	0.	0.2441	-
	$\varepsilon_{xx}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.872 \cdot 10^{-4}$	-0.47
	$\varepsilon_{vv}$	$-4.5 \cdot 10^{-4}$	$-4.467 \cdot 10^{-4}$	-0.73
	$\varepsilon_{xv}$	0.	$1.586 \cdot 10^{-6}$	-
	<i>B</i>	<i>u</i>	0.	eps
<i>v</i>		$4 \cdot 10^{-5}$	$3.9974 \cdot 10^{-5}$	-0.07
$\sigma_{xx}$		40.	39.9774	-0.06
$\sigma_{vv}$		0.	0.0786	-
$\sigma_{zz}$		0.	0.	-
$\sigma_{xv}$		0.	-0.0181	-
$\varepsilon_{xx}$		$2 \cdot 10^{-4}$	$1.998 \cdot 10^{-4}$	-0.11
$\varepsilon_{vv}$		$-0.6 \cdot 10^{-4}$	$-0.596 \cdot 10^{-4}$	-0.67
$\varepsilon_{xv}$		0.	$-1.176 \cdot 10^{-7}$	-
<i>E</i>		<i>u</i>	$-4.17193 \cdot 10^{-5}$	$-4.16814 \cdot 10^{-5}$
	<i>v</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.16814 \cdot 10^{-5}$	-0.09
	$\sigma_{xx}$	20.	20.0024	0.01
	$\sigma_{vv}$	20.	20.0045	0.02
	$\sigma_{zz}$	0.	0.	-
	$\sigma_{xv}$	80.	79.8164	-0.23
	$\varepsilon_{xx}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.7001 \cdot 10^{-4}$	0.01
	$\varepsilon_{vv}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.7002 \cdot 10^{-4}$	0.03
	$\varepsilon_{xv}$	$5.2 \cdot 10^{-4}$	$5.188 \cdot 10^{-4}$	-0.23
	<i>F</i>	<i>u</i>	$-2.82843 \cdot 10^{-5}$	$-2.82655 \cdot 10^{-5}$
<i>v</i>		$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82655 \cdot 10^{-5}$	-0.07
$\sigma_{xx}$		20.	20.0083	0.04
$\sigma_{vv}$		20.	19.9915	-0.04
$\sigma_{zz}$		0.	0.	-
$\sigma_{xv}$		20.	20.0138	0.07
$\varepsilon_{xx}$		$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.7005 \cdot 10^{-4}$	0.08
$\varepsilon_{vv}$		$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.6995 \cdot 10^{-4}$	-0.08
$\varepsilon_{xv}$		$-1.3 \cdot 10^{-4}$	$1.3009 \cdot 10^{-4}$	0.07

## 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

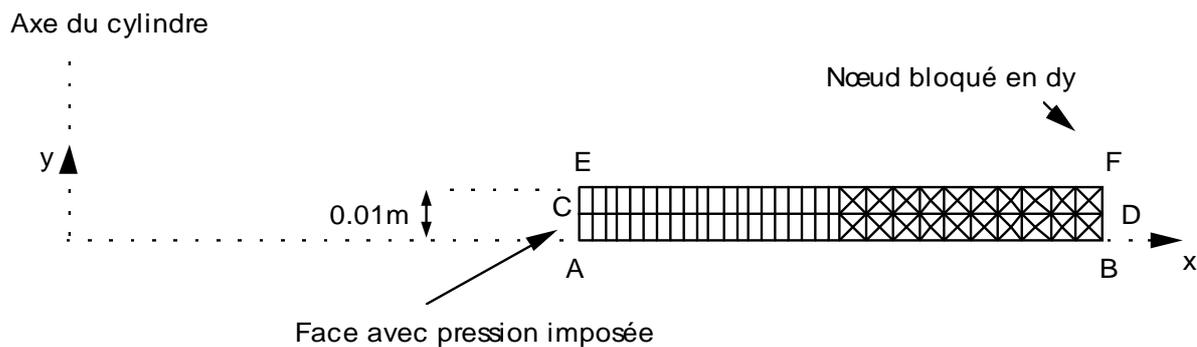
## 9.4 Grandeurs testées et résultats

Localisation	Grandeur	Référence	Aster	% différence
<i>A</i>	<i>u</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.9000 \cdot 10^{-5}$	0.00
	<i>v</i>	0.	eps	-
	$\sigma_{xx}$	- 60.	- 59.8354	- 0.27
	$\sigma_{vv}$	100.	99.8409	- 0.16
	$\sigma_{zz}$	0.	0.	-
	$\sigma_{xv}$	0.	0.0283	-
	$\varepsilon_{xx}$	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.489 \cdot 10^{-4}$	- 0.24
	$\varepsilon_{vv}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.890 \cdot 10^{-4}$	- 0.18
	$\varepsilon_{xv}$	0.	$- 1.839 \cdot 10^{-7}$	-
<i>B</i>	<i>u</i>	$4 \cdot 10^{-5}$	$3.9999 \cdot 10^{-5}$	- 0.001
	<i>v</i>	0.	eps	-
	$\sigma_{xx}$	0.	- 0.0189	-
	$\sigma_{vv}$	40.	40.0182	0.05
	$\sigma_{zz}$	0.	0.	-
	$\sigma_{xv}$	0.	$- 3.6815 \cdot 10^{-3}$	-
	$\varepsilon_{xx}$	$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 0.601 \cdot 10^{-4}$	0.20
	$\varepsilon_{vv}$	$2. \cdot 10^{-4}$	$2.001 \cdot 10^{-4}$	0.06
	$\varepsilon_{xv}$	0.	$- 2.393 \cdot 10^{-8}$	-
<i>E</i>	<i>u</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.17195 \cdot 10^{-5}$	0.00
	<i>v</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.17195 \cdot 10^{-5}$	0.00
	$\sigma_{xx}$	20.	19.9745	- 0.13
	$\sigma_{vv}$	20.	20.0311	0.16
	$\sigma_{zz}$	0.	0.	-
	$\sigma_{xv}$	- 80.	- 79.8382	- 0.20
	$\varepsilon_{xx}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.698 \cdot 10^{-4}$	- 0.25
	$\varepsilon_{vv}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.702 \cdot 10^{-4}$	0.28
	$\varepsilon_{xv}$	$- 5.2 \cdot 10^{-4}$	$- 5.189 \cdot 10^{-4}$	- 0.20
<i>F</i>	<i>u</i>	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82839 \cdot 10^{-5}$	- 0.001
	<i>v</i>	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82839 \cdot 10^{-5}$	- 0.001
	$\sigma_{xx}$	20.	19.9960	- 0.02
	$\sigma_{vv}$	20.	20.0034	0.02
	$\sigma_{zz}$	0.	0.	-
	$\sigma_{xv}$	- 20.	- 20.0185	0.09
	$\varepsilon_{xx}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.6997 \cdot 10^{-4}$	- 0.04
	$\varepsilon_{vv}$	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.7002 \cdot 10^{-4}$	0.03
	$\varepsilon_{xv}$	$- 1.3 \cdot 10^{-4}$	$- 1.301 \cdot 10^{-4}$	0.09

## 10 Modélisation H

### 10.1 Caractéristiques de la modélisation

Éléments 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

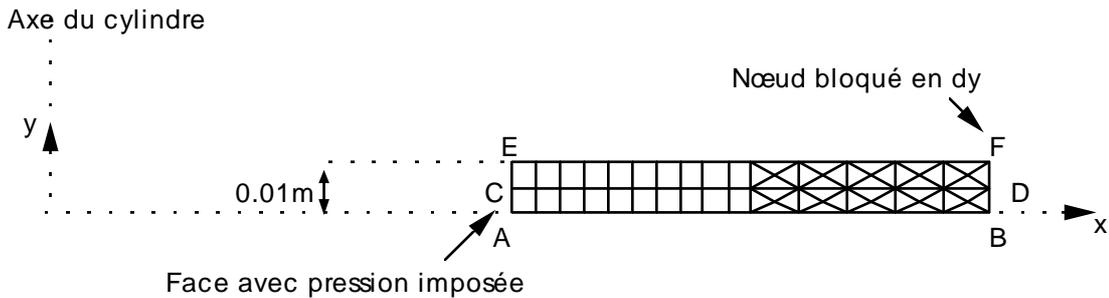
## 10.3 Grandeurs testées et résultats

Localisation	Grandeur	Référence	Aster	% différence
<i>A</i>	<i>u</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8992 \cdot 10^{-5}$	- 0.01
	<i>v</i>	0.	-	-
	$\sigma_{xx}$	- 60.	- 56.6060	- 5.66
	$\sigma_{vv}$	0.	1.0383	-
	$\sigma_{zz}$	100.	101.2924	1.29
	$\sigma_{xv}$	0.	- 1.1635	-
	$\varepsilon_{xx}$	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.36 \cdot 10^{-4}$	- 2.99
	$\varepsilon_{vv}$	0.	$- 6.18 \cdot 10^{-5}$	-
	$\varepsilon_{zz}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.898 \cdot 10^{-4}$	- 0.03
	$\varepsilon_{xv}$	0.	$- 1.06 \cdot 10^{-6}$	-
	<i>B</i>	<i>u</i>	$4 \cdot 10^{-5}$	$3.9997 \cdot 10^{-5}$
<i>v</i>		0.	-	-
$\sigma_{xx}$		0.	- 0.8951	-
$\sigma_{vv}$		0.	- 0.4106	-
$\sigma_{zz}$		40.	39.6001	- 1.00
$\sigma_{xv}$		0.	- 0.1281	-
$\varepsilon_{xx}$		$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 0.632 \cdot 10^{-4}$	5.43
$\varepsilon_{vv}$		0.	$- 6.011 \cdot 10^{-5}$	-
$\varepsilon_{zz}$		$2 \cdot 10^{-4}$	$1.999 \cdot 10^{-4}$	- 0.02
$\varepsilon_{xv}$		0.	$- 8.325 \cdot 10^{-7}$	-
<i>E</i>		<i>u</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8992 \cdot 10^{-5}$
	<i>v</i>	0.	-	-
	$\sigma_{xx}$	- 60.	- 56.6060	- 5.66
	$\sigma_{vv}$	0.	1.0383	-
	$\sigma_{zz}$	100.	101.2924	1.29
	$\sigma_{xv}$	0.	1.1635	-
	$\varepsilon_{xx}$	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.365 \cdot 10^{-4}$	- 2.99
	$\varepsilon_{vv}$	0.	$- 6.184 \cdot 10^{-5}$	-
	$\varepsilon_{zz}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.898 \cdot 10^{-4}$	- 0.03
	$\varepsilon_{xv}$	0.	$1.063 \cdot 10^{-6}$	-
	<i>F</i>	<i>u</i>	$4 \cdot 10^{-5}$	$3.9997 \cdot 10^{-5}$
<i>v</i>		0.	-	-
$\sigma_{xx}$		0.	- 0.4221	-
$\sigma_{vv}$		0.	- 0.2280	-
$\sigma_{zz}$		40.	39.8015	- 0.50
$\sigma_{xv}$		0.	- 0.0020	-
$\varepsilon_{xx}$		$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 0.615 \cdot 10^{-4}$	2.45
$\varepsilon_{vv}$		0.	$- 6.021 \cdot 10^{-5}$	-
$\varepsilon_{zz}$		$2 \cdot 10^{-4}$	$1.9998 \cdot 10^{-4}$	- 0.01
$\varepsilon_{xv}$		0.	$- 1.280 \cdot 10^{-8}$	-

## 11 Modélisation I

### 11.1 Caractéristiques de la modélisation

Éléments **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

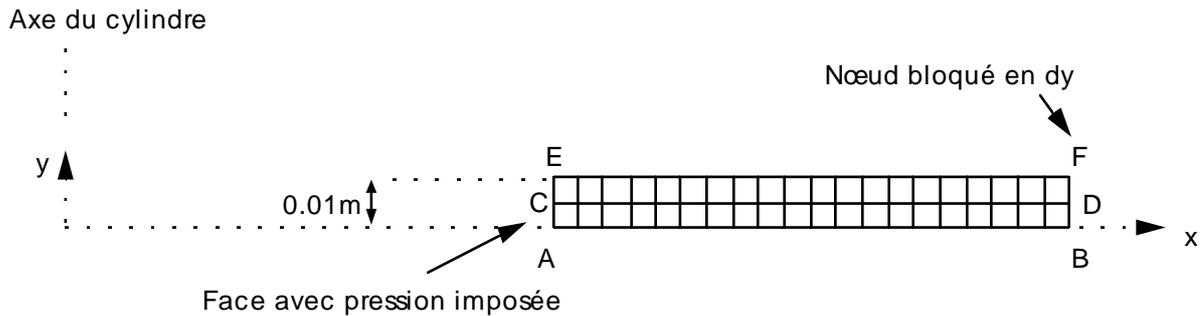
Localisation	Grandeur	Référence	Aster	% différence
<i>A</i>	<i>u</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.9000 \cdot 10^{-5}$	0.00
	<i>v</i>	0.	-	-
	$\sigma_{xx}$	- 60.	- 59.8976	- 0.17
	$\sigma_{vv}$	0.	- 0.0024	-
	$\sigma_{zz}$	100.	99.9089	- 0.09
	$\sigma_{xv}$	0.	- 0.0137	-
	$\varepsilon_{xx}$	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.493 \cdot 10^{-4}$	- 0.14
	$\varepsilon_{vv}$	0.	$- 6.003 \cdot 10^{-5}$	-
	$\varepsilon_{zz}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.894 \cdot 10^{-4}$	- 0.10
	$\varepsilon_{xv}$	0.	$- 8.895 \cdot 10^{-8}$	-
	<i>B</i>	<i>u</i>	$4 \cdot 10^{-5}$	$4.0000 \cdot 10^{-5}$
<i>v</i>		0.	-	-
$\sigma_{xx}$		0.	0.0308	-
$\sigma_{vv}$		0.	- 0.0020	-
$\sigma_{zz}$		40.	39.9738	- 0.07
$\sigma_{xv}$		0.	0.0131	-
$\varepsilon_{xx}$		$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 0.598 \cdot 10^{-4}$	- 0.33
$\varepsilon_{vv}$		0.	$- 6.002 \cdot 10^{-5}$	-
$\varepsilon_{zz}$		$2. \cdot 10^{-4}$	$1.998 \cdot 10^{-4}$	- 0.09
$\varepsilon_{xv}$		0.	$8.495 \cdot 10^{-8}$	-
<i>E</i>		<i>u</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.9000 \cdot 10^{-5}$
	<i>v</i>	0.	-	-
	$\sigma_{xx}$	- 60.	- 59.8976	- 0.17
	$\sigma_{vv}$	0.	- 0.0024	-
	$\sigma_{zz}$	100.	99.9089	- 0.09
	$\sigma_{xv}$	0.	0.0137	-
	$\varepsilon_{xx}$	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.493 \cdot 10^{-4}$	- 0.14
	$\varepsilon_{vv}$	0.	$- 6.003 \cdot 10^{-5}$	-
	$\varepsilon_{zz}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.894 \cdot 10^{-4}$	- 0.10
	$\varepsilon_{xv}$	0.	$8.895 \cdot 10^{-8}$	-
	<i>F</i>	<i>u</i>	$4 \cdot 10^{-5}$	$4.0000 \cdot 10^{-5}$
<i>v</i>		0.	-	-
$\sigma_{xx}$		0.	0.0308	-
$\sigma_{vv}$		0.	- 0.0020	-
$\sigma_{zz}$		40.	39.9738	- 0.07
$\sigma_{xv}$		0.	- 0.0131	-
$\varepsilon_{xx}$		$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 0.598 \cdot 10^{-4}$	- 0.33
$\varepsilon_{vv}$		0.	$- 6.002 \cdot 10^{-5}$	-
$\varepsilon_{zz}$		$2. \cdot 10^{-4}$	$1.998 \cdot 10^{-4}$	- 0.09
$\varepsilon_{xv}$		0.	$- 8.495 \cdot 10^{-8}$	-

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

## 12 Modélisation J

### 12.1 Caractéristiques de la modélisation

Éléments **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

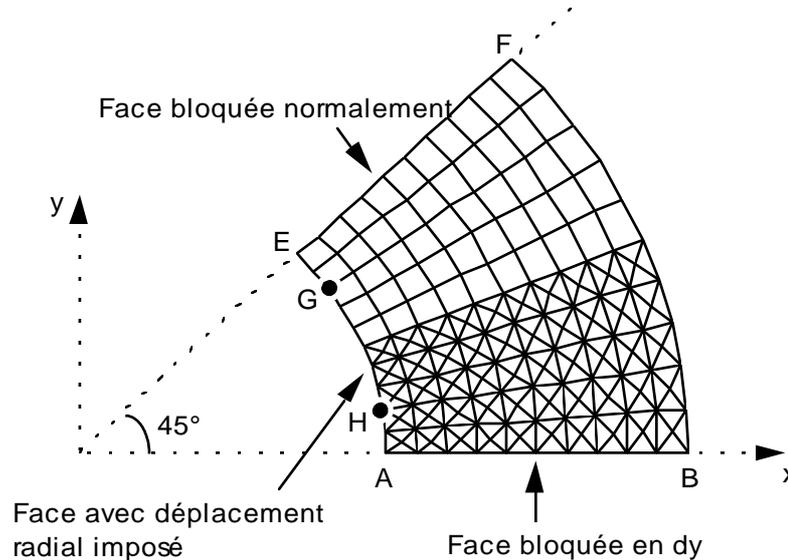
Localisation	Grandeur	Référence	Aster	% différence
<i>A</i>	<i>u</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.9000 \cdot 10^{-5}$	0.00
	<i>v</i>	0.	-	-
	$\sigma_{xx}$	- 60.	- 59.8997	- 0.17
	$\sigma_{vv}$	0.	- 0.0035	-
	$\sigma_{zz}$	100.	99.9080	- 0.09
	$\sigma_{xv}$	0.	- 0.0141	-
	$\varepsilon_{xx}$	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.494 \cdot 10^{-4}$	- 0.14
	$\varepsilon_{vv}$	0.	$- 6.003 \cdot 10^{-5}$	-
	$\varepsilon_{zz}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.894 \cdot 10^{-4}$	- 0.10
	$\varepsilon_{xv}$	0.	$- 9.156 \cdot 10^{-8}$	-
	<i>B</i>	<i>u</i>	$4. \cdot 10^{-5}$	$4.0000 \cdot 10^{-5}$
<i>v</i>		0.	-	-
$\sigma_{xx}$		0.	0.0070	-
$\sigma_{vv}$		0.	- 0.0001	-
$\sigma_{zz}$		40.	39.9936	- 0.02
$\sigma_{xv}$		0.	0.0010	-
$\varepsilon_{xx}$		$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 0.5996 \cdot 10^{-4}$	- 0.07
$\varepsilon_{vv}$		0.	$- 6.000 \cdot 10^{-5}$	-
$\varepsilon_{zz}$		$2. \cdot 10^{-4}$	$1.9996 \cdot 10^{-4}$	- 0.02
$\varepsilon_{xv}$		0.	$6.748 \cdot 10^{-9}$	-
<i>E</i>		<i>u</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.9000 \cdot 10^{-5}$
	<i>v</i>	0.	-	-
	$\sigma_{xx}$	- 60.	- 59.8997	- 0.17
	$\sigma_{vv}$	0.	- 0.0035	-
	$\sigma_{zz}$	100.	99.9080	- 0.09
	$\sigma_{xv}$	0.	0.0141	-
	$\varepsilon_{xx}$	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.494 \cdot 10^{-4}$	- 0.14
	$\varepsilon_{vv}$	0.	$- 6.003 \cdot 10^{-5}$	-
	$\varepsilon_{zz}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.894 \cdot 10^{-4}$	- 0.10
	$\varepsilon_{xv}$	0.	$- 9.156 \cdot 10^{-8}$	-
	<i>F</i>	<i>u</i>	$4. \cdot 10^{-5}$	$4.0000 \cdot 10^{-5}$
<i>v</i>		0.	-	-
$\sigma_{xx}$		0.	0.0070	-
$\sigma_{vv}$		0.	- 0.0001	-
$\sigma_{zz}$		40.	39.9936	- 0.02
$\sigma_{xv}$		0.	- 0.0010	-
$\varepsilon_{xx}$		$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 0.5996 \cdot 10^{-4}$	- 0.07
$\varepsilon_{vv}$		0.	$- 6.000 \cdot 10^{-5}$	-
$\varepsilon_{zz}$		$2. \cdot 10^{-4}$	$1.9996 \cdot 10^{-4}$	- 0.02
$\varepsilon_{xv}$		0.	$- 6.748 \cdot 10^{-9}$	-

## 13 Modélisation K

### 13.1 Caractéristiques de la modélisation

Éléments 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  
Épaisseur 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	Référence	Aster	% différence
$C$	$F_x$	1.0884 E-3	1.0953 E-3	0.64
	$F_y$	4.5084 E-4	4.5836 E-4	1.67
$C_2$	$F_x$	2.1768 E-3	2.1571 E-3	- 0.91
	$F_y$	9.0170 E-4	9.1304 E-4	1.26
$C_3$	$F_x$	1.0884 E-3	1.0953 E-3	0.64
	$F_y$	4.5084 E-4	4.5836 E-4	1.67
$H$	$F_x$	1.1636 E-3	1.1709 E-3	0.63
	$F_y$	1.8429 E-4	1.8527 E-4	0.53
$G$	$F_x$	1.0045 E-3	1.0144 E-3	0.99
	$F_y$	6.1550 E-4	6.2117 E-4	0.92
$H_2$	$F_x$	2.3272 E-3	2.3173 E-3	- 0.43
	$F_y$	3.6858 E-4	3.6669 E-4	- 0.51
$G_2$	$F_x$	2.0090 E-3	1.9951 E-3	- 0.69
	$F_y$	1.2310 E-3	1.2214 E-3	- 0.78

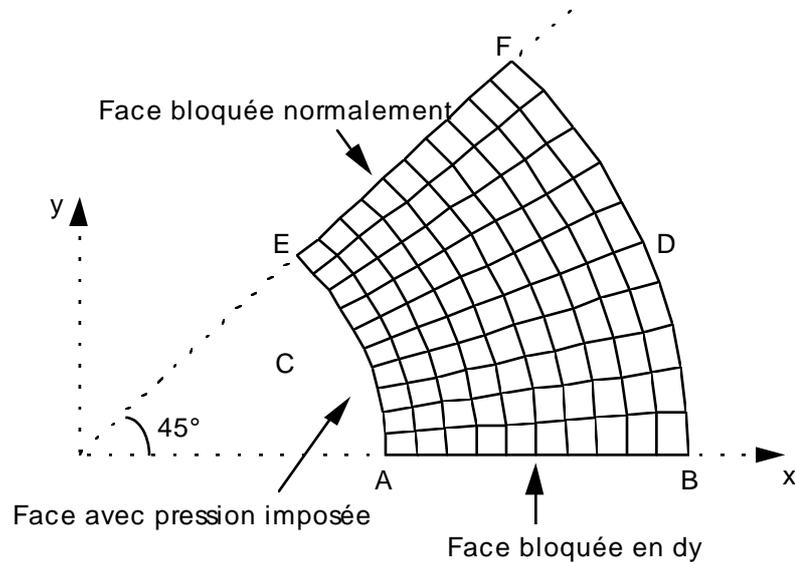
## 13.5 Remarques

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

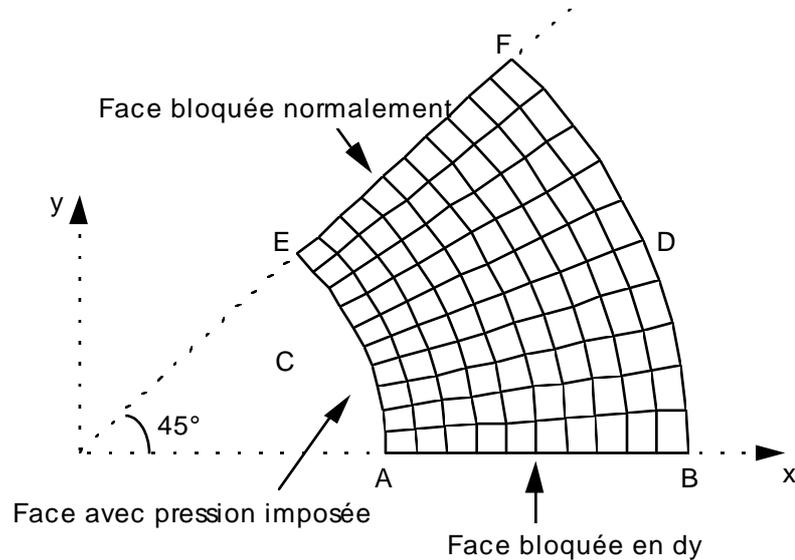
## 14.4 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence	Aster	% différence
$u$ -nœud (A)	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8873 \cdot 10^{-5}$	- 0.21
$v$ -nœud (A)	0.	eps	-
$\sigma_{xx}$ -nœud (A)	- 60.	- 52.9567	- 11.74
$\sigma_{yy}$ -nœud (A)	100.	91.7830	- 8.22
$\sigma_{zz}$ -nœud (A)	0.	- 1.1206	-
$\sigma_{xy}$ -nœud (A)	0.	- 4.5121	-
$\varepsilon_{xx}$ -nœud (A)	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.008 \cdot 10^{-4}$	- 10.94
$\varepsilon_{yy}$ -nœud (A)	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.400 \cdot 10^{-4}$	- 8.47
$\varepsilon_{xy}$ -nœud (A)	0.	$- 2.933 \cdot 10^{-5}$	-
$u$ -nœud (B)	$4. \cdot 10^{-5}$	$3.9936 \cdot 10^{-5}$	- 0.16
$v$ -nœud (B)	0.	eps	-
$\sigma_{xx}$ -nœud (B)	0.	- 0.7670	-
$\sigma_{yy}$ -nœud (B)	40.	39.5319	- 1.17
$\sigma_{zz}$ -nœud (B)	0.	- 0.3115	-
$\sigma_{xy}$ -nœud (B)	0.	- 1.5858	-
$\varepsilon_{xx}$ -nœud (B)	$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 0.627 \cdot 10^{-4}$	4.44
$\varepsilon_{yy}$ -nœud (B)	$2. \cdot 10^{-4}$	$1.993 \cdot 10^{-4}$	- 0.36
$\varepsilon_{xy}$ -nœud (B)	0.	$- 1.031 \cdot 10^{-5}$	-
$u$ -nœud (E)	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.16293 \cdot 10^{-5}$	- 0.21
$v$ -nœud (E)	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.16293 \cdot 10^{-5}$	- 0.21
$\sigma_{xx}$ -nœud (E)	20.	19.3586	- 3.21
$\sigma_{yy}$ -nœud (E)	20.	31.5151	57.57
$\sigma_{zz}$ -nœud (E)	0.	2.5686	-
$\sigma_{xy}$ -nœud (E)	- 80.	- 77.2309	- 3.46
$\varepsilon_{xx}$ -nœud (E)	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.457 \cdot 10^{-4}$	- 34.76
$\varepsilon_{yy}$ -nœud (E)	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$1.247 \cdot 10^{-4}$	78.12
$\varepsilon_{xy}$ -nœud (E)	$- 5.2 \cdot 10^{-4}$	$- 5.020 \cdot 10^{-4}$	- 3.46
$u$ -nœud (F)	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82393 \cdot 10^{-5}$	- 0.16
$v$ -nœud (F)	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82393 \cdot 10^{-5}$	- 0.16
$\sigma_{xx}$ -nœud (F)	20.	18.9523	- 5.24
$\sigma_{yy}$ -nœud (F)	20.	20.9510	4.75
$\sigma_{zz}$ -nœud (F)	0.	0.0035	-
$\sigma_{xy}$ -nœud (F)	- 20.	- 20.9897	4.95
$\varepsilon_{xx}$ -nœud (F)	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.633 \cdot 10^{-4}$	- 9.60
$\varepsilon_{yy}$ -nœud (F)	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.763 \cdot 10^{-4}$	8.96
$\varepsilon_{xy}$ -nœud (F)	$- 1.3 \cdot 10^{-4}$	$- 1.364 \cdot 10^{-4}$	4.95

## 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

## 15.4 Grandeurs testées et résultats

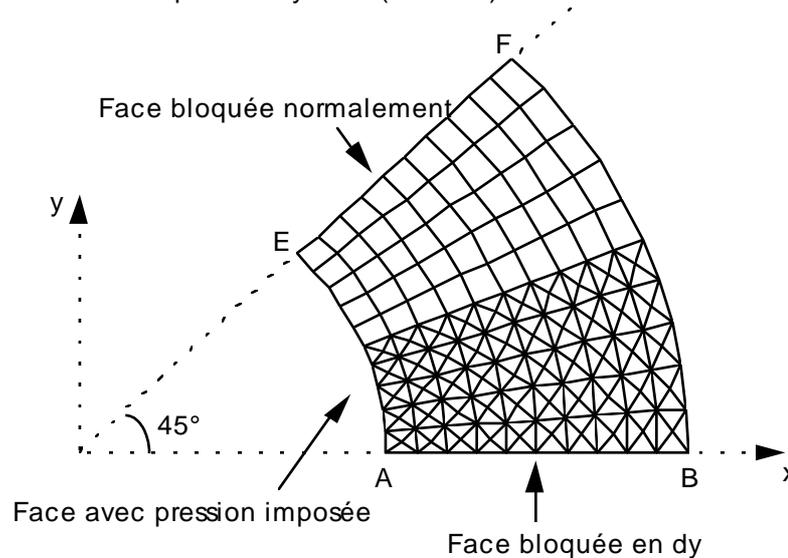
Identification	Référence	Aster	% différence
$u$ -nœud (A)	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8999 \cdot 10^{-5}$	- 0.002
$\nu$ -nœud (A)	0.	eps	-
$\sigma_{xx}$ -nœud (A)	- 60.	- 59.9880	- 0.02
$\sigma_{\nu\nu}$ -nœud (A)	100.	100.1277	0.13
$\sigma_{zz}$ -nœud (A)	0.	0.0425	-
$\sigma_{x\nu}$ -nœud (A)	0.	- 0.0913	-
$\varepsilon_{xx}$ -nœud (A)	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.502 \cdot 10^{-4}$	0.04
$\varepsilon_{\nu\nu}$ -nœud (A)	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.906 \cdot 10^{-4}$	0.09
$\varepsilon_{x\nu}$ -nœud (A)	0.	$- 5.934 \cdot 10^{-7}$	-
$u$ -nœud (B)	$4. \cdot 10^{-5}$	$4.0000 \cdot 10^{-5}$	0.00
$\nu$ -nœud (B)	0.	eps	-
$\sigma_{xx}$ -nœud (B)	0.	- 0.0276	-
$\sigma_{\nu\nu}$ -nœud (B)	40.	40.0331	0.08
$\sigma_{zz}$ -nœud (B)	0.	0.0024	-
$\sigma_{x\nu}$ -nœud (B)	0.	0.0126	-
$\varepsilon_{xx}$ -nœud (B)	$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 0.602 \cdot 10^{-4}$	0.32
$\varepsilon_{\nu\nu}$ -nœud (B)	$2. \cdot 10^{-4}$	$2.002 \cdot 10^{-4}$	0.10
$\varepsilon_{x\nu}$ -nœud (B)	0.	$8.177 \cdot 10^{-8}$	-
$u$ -nœud (E)	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.17183 \cdot 10^{-5}$	- 0.002
$\nu$ -nœud (E)	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.17183 \cdot 10^{-5}$	- 0.002
$\sigma_{xx}$ -nœud (E)	20.	19.9787	-0.11
$\sigma_{\nu\nu}$ -nœud (E)	20.	20.1612	0.81
$\sigma_{zz}$ -nœud (E)	0.	0.0425	-
$\sigma_{x\nu}$ -nœud (E)	- 80.	- 80.0580	0.07
$\varepsilon_{xx}$ -nœud (E)	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.696 \cdot 10^{-4}$	- 0.59
$\varepsilon_{\nu\nu}$ -nœud (E)	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.708 \cdot 10^{-4}$	1.11
$\varepsilon_{x\nu}$ -nœud (E)	$- 5.2 \cdot 10^{-4}$	$- 5.204 \cdot 10^{-4}$	0.07
$u$ -nœud (F)	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82844 \cdot 10^{-5}$	0.00
$\nu$ -nœud (F)	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82844 \cdot 10^{-5}$	0.00
$\sigma_{xx}$ -nœud (F)	20.	20.0224	0.11
$\sigma_{\nu\nu}$ -nœud (F)	20.	19.9901	- 0.05
$\sigma_{zz}$ -nœud (F)	0.	0.0031	-
$\sigma_{x\nu}$ -nœud (F)	- 20.	- 19.9818	- 0.09
$\varepsilon_{xx}$ -nœud (F)	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.701 \cdot 10^{-5}$	0.17
$\varepsilon_{\nu\nu}$ -nœud (F)	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.699 \cdot 10^{-4}$	- 0.13
$\varepsilon_{x\nu}$ -nœud (F)	$- 1.3 \cdot 10^{-5}$	$- 1.299 \cdot 10^{-5}$	- 0.09

## 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  
Épaisseur 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

## 16.5 Grandeurs testées et résultats

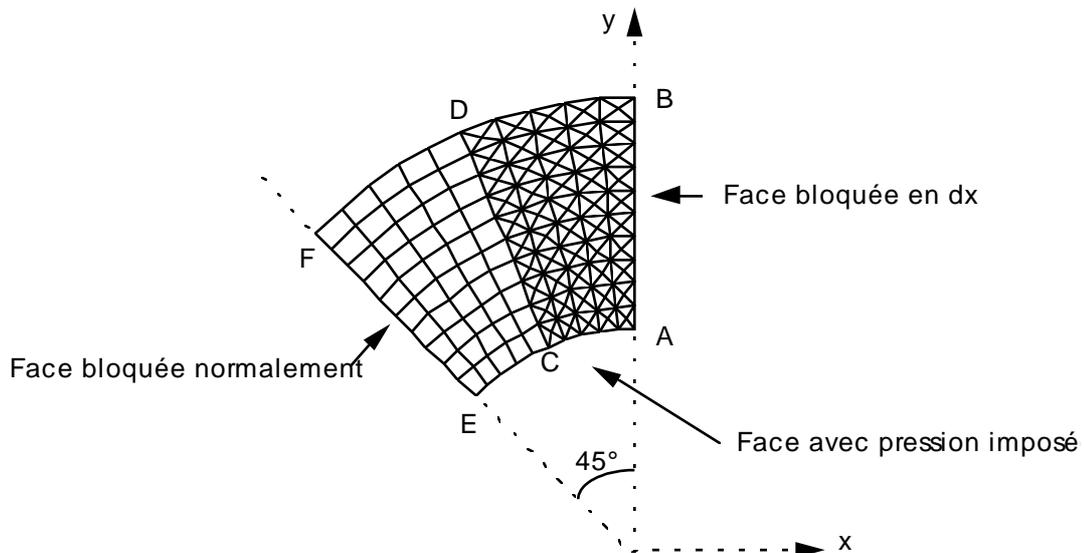
Identification	Référence	Aster	% différence
$u$ -nœud (A)	$5.6 \cdot 10^{-5}$	$5.6000 \cdot 10^{-5}$	0.00
$v$ -nœud (A)	0.	eps	-
$\sigma_{xx}$ -nœud (A)	-60.	-59.5972	-0.67
$\sigma_{yy}$ -nœud (A)	100.	99.5187	-0.48
$\sigma_{zz}$ -nœud (A)	20.	19.9584	-0.21
$\sigma_{xy}$ -nœud (A)	0.	eps	-
$u$ -nœud (B)	$3.4 \cdot 10^{-5}$	$3.4000 \cdot 10^{-5}$	0.00
$v$ -nœud (B)	0.	eps	-
$\sigma_{xx}$ -nœud (B)	0.	$2.0877 \cdot 10^{-2}$	-
$\sigma_{yy}$ -nœud (B)	40.	39.9685	-0.08
$\sigma_{zz}$ -nœud (B)	20.	19.9946	-0.03
$\sigma_{xy}$ -nœud (B)	0.	eps	-
$\sigma_{xx}$ -nœud (E)	20.	20.3287	1.64
$\sigma_{yy}$ -nœud (E)	20.	20.3287	1.64
$\sigma_{zz}$ -nœud (E)	20.	20.1739	0.87
$\sigma_{xy}$ -nœud (E)	-80.	-79.9775	-0.03
$\sigma_{xx}$ -nœud (F)	20.	20.0176	0.09
$\sigma_{yy}$ -nœud (F)	20.	20.0176	0.09
$\sigma_{zz}$ -nœud (F)	20.	20.0072	0.04
$\sigma_{xy}$ -nœud (F)	-20.	-20.0027	0.01

## 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

## 17.4 Grandeurs testées et résultats

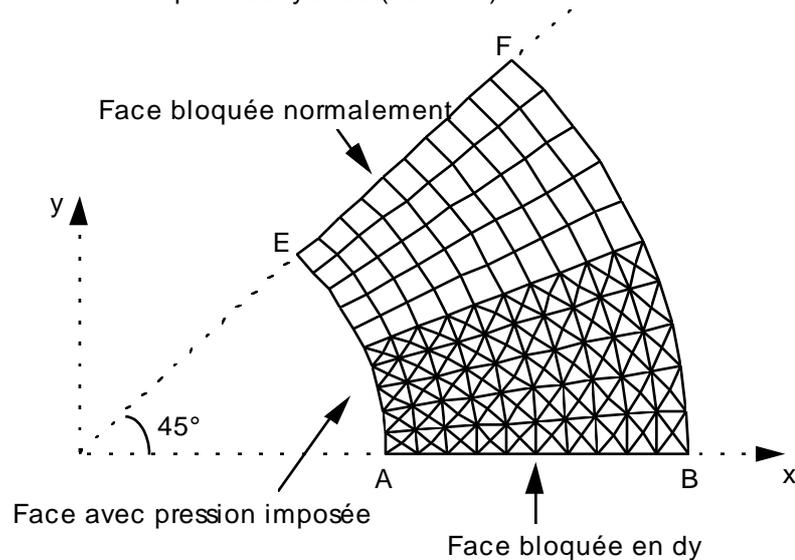
Identification	Référence	Aster	% différence
$u$ -nœud (A)	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8999 \cdot 10^{-5}$	-0.002
$v$ -nœud (A)	0.	eps	-
$\sigma_{xx}$ -nœud (A)	-60.	-59.5340	-0.78
$\sigma_{yy}$ -nœud (A)	100.	99.5453	-0.45
$\sigma_{zz}$ -nœud (A)	0.	0.	-
$\sigma_{xy}$ -nœud (A)	0.	eps	-
$u$ -nœud (B)	$4. \cdot 10^{-5}$	$3.99996 \cdot 10^{-5}$	0.00
$v$ -nœud (B)	0.	0.	-
$\sigma_{xx}$ -nœud (B)	0.	$2.6874 \cdot 10^{-2}$	-
$\sigma_{yy}$ -nœud (B)	40.	39.9716	-0.07
$\sigma_{zz}$ -nœud (B)	0.	0.	-
$\sigma_{xy}$ -nœud (B)	0.	eps	-
$u$ -nœud (E)	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.17215 \cdot 10^{-5}$	0.005
$v$ -nœud (E)	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.17215 \cdot 10^{-5}$	0.005
$\sigma_{xx}$ -nœud (E)	20.	20.2875	1.44
$\sigma_{yy}$ -nœud (E)	20.	20.2875	1.44
$\sigma_{zz}$ -nœud (E)	0.	0.	-
$\sigma_{xy}$ -nœud (E)	-80.	-79.9196	-0.10
$u$ -nœud (F)	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82841 \cdot 10^{-5}$	-0.001
$v$ -nœud (F)	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82841 \cdot 10^{-5}$	-0.001
$\sigma_{xx}$ -nœud (F)	20.	20.0167	0.08
$\sigma_{yy}$ -nœud (F)	20.	20.0167	0.08
$\sigma_{zz}$ -nœud (F)	0.	0.	-
$\sigma_{xy}$ -nœud (F)	-20.	-19.9993	-0.004

## 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

## 18.5 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence	Aster	% différence
u-nœud (A) à t=1. s	5.6 10 <sup>-5</sup>	5.6000 10 <sup>-5</sup>	0.00
v-nœud (A) à t=1. s	0.	eps	-
$\sigma_{xx}$ -nœud (A) à t=1. s	-60.	-59.5414	-0.76
$\sigma_{yy}$ -nœud (A) à t=1. S	100.	99.6183	-0.38
$\sigma_{zz}$ -nœud (A) à t=1. S	20.	19.9976	-0.01
$\sigma_{xy}$ -nœud (A) à t=1. S	0.	eps	-
$\sigma_{xx}$ -nœud (A) à t=2. S	-120.	-119.0829	-0.76
$\sigma_{yy}$ -nœud (A) à t=2. S	200.	199.2366	-0.38
$\sigma_{zz}$ -nœud (A) à t=2. S	40.	39.9952	-0.01
$\sigma_{xy}$ -nœud (A) à t=2. S	0.	eps	-
u-nœud (B) à t=1. s	3.4 10 <sup>-5</sup>	3.4000 10 <sup>-5</sup>	0.00
v-nœud (B) à t=1. s	0.	eps	-
$\sigma_{xx}$ -nœud (B) à t=1. S	0.	2.6761 10 <sup>-2</sup>	-
$\sigma_{yy}$ -nœud (B) à t=1. S	40.	39.9740	-0.06
$\sigma_{zz}$ -nœud (B) à t=1. S	20.	19.9973	-0.01
$\sigma_{xy}$ -nœud (B) à t=1. S	0.	eps	-
$\sigma_{xx}$ -nœud (B) à t=2. S	0.	5.3523 10 <sup>-2</sup>	-
$\sigma_{yy}$ -nœud (B) à t=2. S	80.	79.9480	-0.06
$\sigma_{zz}$ -nœud (B) à t=2. S	40.	39.9946	-0.01
$\sigma_{xy}$ -nœud (B) à t=2. S	0.	eps	-
$\sigma_{xx}$ -nœud (E) à t=1. S	20.	20.3287	1.64
$\sigma_{yy}$ -nœud (E) à t=1. S	20.	20.3287	1.64
$\sigma_{zz}$ -nœud (E) à t=1. S	20.	20.1739	0.87
$\sigma_{xy}$ -nœud (E) à t=1. S	-80.	-79.9775	-0.03
$\sigma_{xx}$ -nœud (E) à t=2. S	40.	40.6575	1.64
$\sigma_{yy}$ -nœud (E) à t=2. s	40.	40.6575	1.64
$\sigma_{zz}$ -nœud (E) à t=2. s	40.	40.3479	0.87
$\sigma_{xy}$ -nœud (E) à t=2. s	-160.	-159.9550	-0.03
$\sigma_{xx}$ -nœud (F) à t=1. S	20.	20.0176	0.09
$\sigma_{yy}$ -nœud (F) à t=1. S	20.	20.0176	0.09
$\sigma_{zz}$ -nœud (F) à t=1. S	20.	20.0072	0.04
$\sigma_{xy}$ -nœud (F) à t=1. S	-20.	-20.0027	0.01
$\sigma_{xx}$ -nœud (F) à t=2. S	40.	40.0351	0.09
$\sigma_{yy}$ -nœud (F) à t=2. S	40.	40.0351	0.09
$\sigma_{zz}$ -nœud (F) à t=2. S	40.	40.0144	0.04
$\sigma_{xy}$ -nœud (F) à t=2. S	-40.	-40.0054	0.01

## 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		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.