
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).

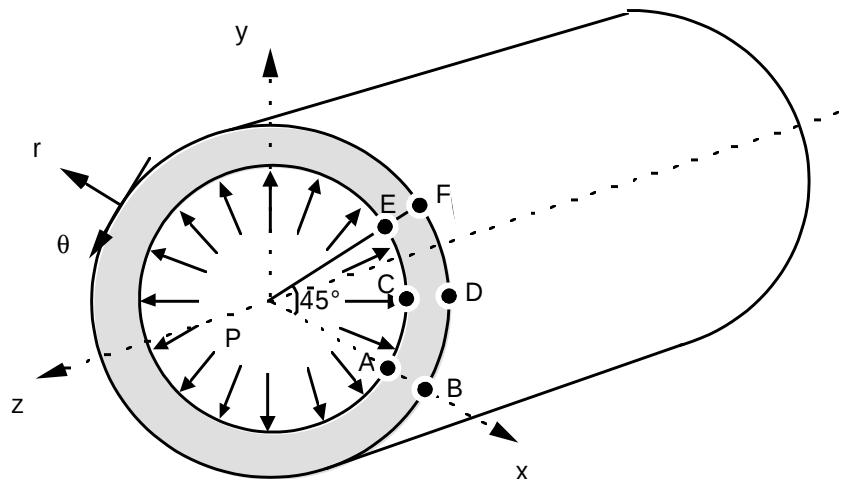
Les fonctionnalités testées sont :

- 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 $a = 0.1 \text{ m}$
Rayon externe $b = 0.2 \text{ m}$

Coordonnées des points :

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

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

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

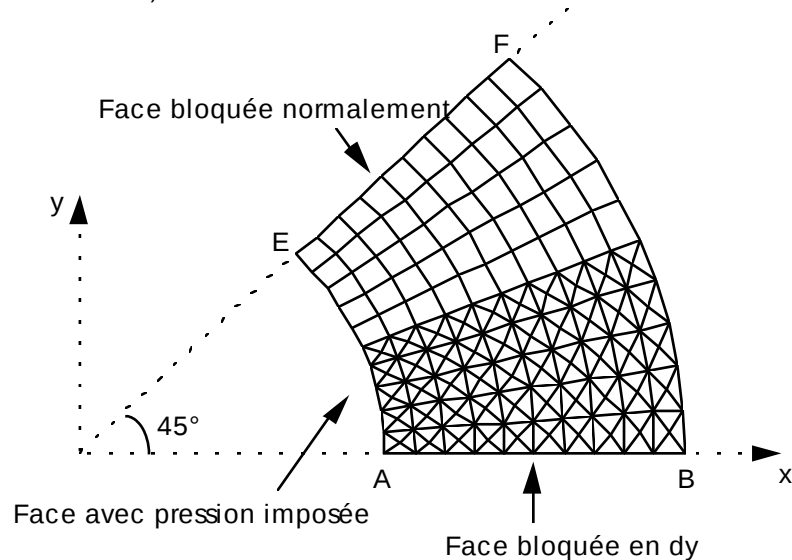
- 1 Guide VPCS. SSLV04/89
- 2 Y. C. FUNG. Foundations of solid mechanics. Prentice-hall, inc. Englewood Cliffs. NJ. 1965
p. 243 à 245.
- 3 J. COURBON. Résistance des matériaux p 649

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

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	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>	-
	σ_{xx}	-60.	-59.2225	1.30
	σ_{yy}	100.	100.4159	0.42
	σ_{zz}	0.	0.3093	-
	σ_{xy}	0.	-1.0442	-
	ε_{xx}	$-4.5 \cdot 10^{-4}$	$-4.472 \cdot 10^{-4}$	0.62
	ε_{yy}	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.904 \cdot 10^{-4}$	0.08
	ε_{xy}	0.	$-6.788 \cdot 10^{-5}$	-
<i>B</i>	<i>u</i>	$4 \cdot 10^{-5}$	$3.9959 \cdot 10^{-5}$	0.10
	<i>v</i>	0.	<i>eps</i>	-
	σ_{xx}	0.	-1.7246	-
	σ_{yy}	40.	39.2451	1.89
	σ_{zz}	0.	-0.3761	-
	σ_{xy}	0.	-0.2659	-
	ε_{xx}	$-0.6 \cdot 10^{-4}$	$-6.692 \cdot 10^{-5}$	11.54
	ε_{yy}	$2 \cdot 10^{-4}$	$1.994 \cdot 10^{-4}$	0.31
	ε_{xy}	0.	$-1.728 \cdot 10^{-6}$	-
<i>E</i>	<i>u</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.1708 \cdot 10^{-5}$	0.03
	<i>v</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.1708 \cdot 10^{-5}$	0.03
	σ_{xx}	20.	19.0824	4.59
	σ_{yy}	20.	21.1394	5.70
	σ_{zz}	0.	0.0870	-
	σ_{xy}	-80.	-79.8831	0.15
	ε_{xx}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.636 \cdot 10^{-4}$	9.18
	ε_{yy}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.769 \cdot 10^{-4}$	9.92
	ε_{xy}	$-5.2 \cdot 10^{-4}$	$-5.192 \cdot 10^{-4}$	0.15
<i>F</i>	<i>u</i>	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.8302 \cdot 10^{-5}$	0.06
	<i>v</i>	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.8302 \cdot 10^{-5}$	0.06
	σ_{xx}	20.	18.9528	5.24
	σ_{yy}	20.	19.9104	0.45
	σ_{zz}	0.	0.1198	-
	σ_{xy}	-20.	-20.1809	0.90
	ε_{xx}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.647 \cdot 10^{-4}$	7.54
	ε_{yy}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.709 \cdot 10^{-4}$	1.35
	ε_{xy}	$-1.3 \cdot 10^{-4}$	$-1.312 \cdot 10^{-4}$	0.90

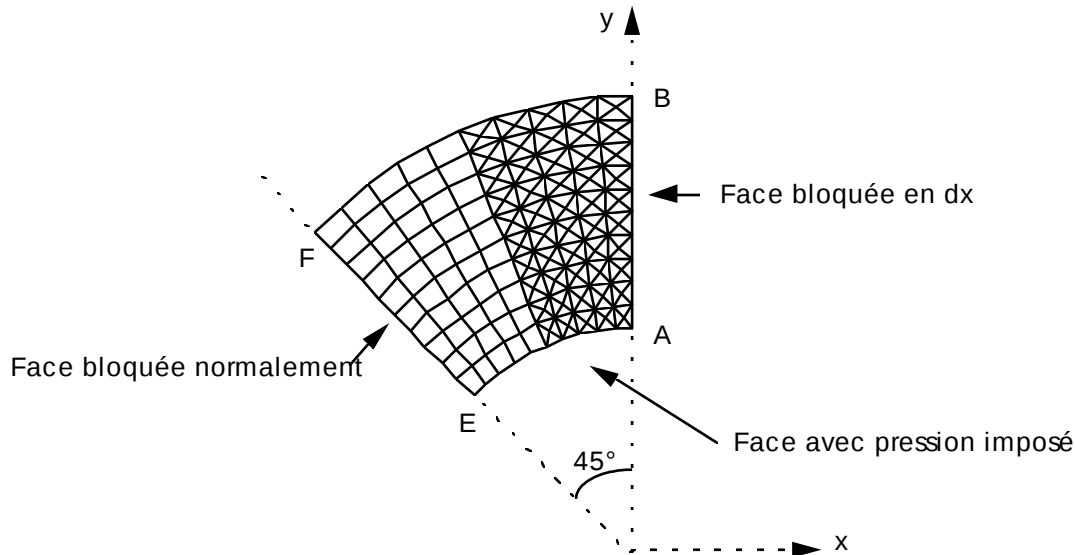
Localisation	Grandeur	Référence	Tolérance
Maille M1380, point A			
SIRO_ELEM	SIG_NX	60.0	2.0%
Contrainte normale à la face de l'élément	SIG_NY	0.0	1.0
	SIG_NZ	0.0	0.01
	SIG_N	-60.0	2.0%
SIRO_ELEM	SIG_TX	0.0	0.01
Contrainte tangentielle dans le plan de l'élément	SIG_TY	0.0	1.0%
	SIG_TZ	0.0	1.0
SIRO_ELEM	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%
Maille M1351, point E			
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
	σ_{xx}	100.	99.6056	-0.39
	σ_{vv}	-60.	-59.4473	-0.92
	σ_{zz}	0.	0.0196	-
	σ_{xv}	0.	0.2481	-
	ε_{xx}	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.87 \cdot 10^{-4}$	-0.48
	ε_{vv}	$-4.5 \cdot 10^{-4}$	$-4.47 \cdot 10^{-4}$	-0.74
	ε_{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
	σ_{xx}	40.	39.9711	0.07
	σ_{vv}	0.	0.0781	-
	σ_{zz}	0.	$5.7992 \cdot 10^{-3}$	-
	σ_{xv}	0.	-0.0182	-
	ε_{xx}	$2 \cdot 10^{-4}$	$1.997 \cdot 10^{-4}$	-0.13
	ε_{vv}	$-0.6 \cdot 10^{-4}$	$-0.596 \cdot 10^{-4}$	-0.67
	ε_{xv}	0.	$-1.1810 \cdot 10^{-7}$	-
<i>E</i>	<i>u</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.1680 \cdot 10^{-5}$	-0.09
	<i>v</i>	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.1680 \cdot 10^{-5}$	-0.09
	σ_{xx}	20.	20.0515	0.26
	σ_{vv}	20.	20.0264	0.13
	σ_{zz}	0.	-0.0155	-
	σ_{xv}	80.	79.7918	-0.26
	ε_{xx}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.702 \cdot 10^{-4}$	0.34
	ε_{vv}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.701 \cdot 10^{-4}$	0.11
	ε_{xv}	$5.2 \cdot 10^{-4}$	$5.19 \cdot 10^{-4}$	-0.26
<i>F</i>	<i>u</i>	$-2.82843 \cdot 10^{-5}$	$-2.82656 \cdot 10^{-5}$	-0.07
	<i>v</i>	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.82656 \cdot 10^{-5}$	-0.07
	σ_{xx}	20.	20.0099	0.05
	σ_{vv}	20.	19.9980	-0.01
	σ_{zz}	0.	$-3.90 \cdot 10^{-4}$	-
	σ_{xv}	20.	20.0122	0.06
	ε_{xx}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.7005 \cdot 10^{-4}$	0.08
	ε_{vv}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.6997 \cdot 10^{-4}$	-0.03
	ε_{xv}	$-1.3 \cdot 10^{-4}$	$-1.3008 \cdot 10^{-4}$	0.06

Localisation	Grandeur	Référence	Tolérance
Maille MA751, point A			
SIRO_ELEM	SIG_NX	0.0	3.
Contrainte normale à la face de l'élément	SIG_NY	60.0	0.5%
	SIG_NZ	0.0	0.01
	SIG_TX	0.0	0.1
Contrainte tangentielle dans le plan de l'élément	SIG_TY	0.0	0.1
	SIG_TZ	0.0	0.1
	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	0.05
	SIG_T2X	100.0	0.15%
Deuxième valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément	SIG_T2Y	0.0	4.5
	SIG_T2Z	0.0	0.20
Maille MA769, point E			
SIRO_ELEM	SIG_NX	-42.426	6.0%
Contrainte normale à la face de l'élément	SIG_NY	42.426	4.0%
	SIG_NZ	0.0	0.01
	SIG_TX	0.0	0.01
Contrainte tangentielle dans le plan de l'élément	SIG_TY	0.0	0.01
	SIG_TZ	0.0	0.03
	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	0.01
	SIG_T2X	70.711	3.5%
Deuxième valeur de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément	SIG_T2Y	70.711	4.5%
	SIG_T2Z	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
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	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	-
	σ_{xx}	-60.	- 57.2290	- 4.62
	σ_{vv}	100.	97.8711	- 2.13
	σ_{zz}	0.	0.0568	-
	σ_{xv}	0.	- 2.6589	-
	ε_{xx}	$-4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.33 \cdot 10^{-4}$	- 3.77
	ε_{vv}	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.75 \cdot 10^{-4}$	- 2.52
	ε_{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	-
	σ_{xx}	0.	- 1.5296	-
	σ_{vv}	40.	40.9839	2.46
	σ_{zz}	0.	- 0.1006	-
	σ_{xv}	0.	- 0.8513	-
	ε_{xx}	$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 6.897 \cdot 10^{-4}$	14.95
	ε_{vv}	$2 \cdot 10^{-4}$	$2.074 \cdot 10^{-4}$	3.68
	ε_{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
	σ_{xx}	20.	17.9096	- 10.45
	σ_{vv}	20.	21.8929	9.46
	σ_{zz}	0.	- 0.3679	-
	σ_{xv}	- 80.	- 77.6897	- 2.89
	ε_{xx}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.573 \cdot 10^{-4}$	- 18.20
	ε_{vv}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.832 \cdot 10^{-4}$	18.79
	ε_{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
	σ_{xx}	20.	18.4444	- 7.78
	σ_{vv}	20.	19.8876	- 0.56
	σ_{zz}	0.	- 0.3910	-
	σ_{xv}	- 20.	- 20.1631	0.81
	ε_{xx}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.630 \cdot 10^{-4}$	- 10.05
	ε_{vv}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.723 \cdot 10^{-4}$	3.35
	ε_{xv}	$- 1.3 \cdot 10^{-4}$	$- 1.311 \cdot 10^{-4}$	0.81

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

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	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>	-
	σ_{xx}	- 60.	- 60.3816	0.64
	σ_{vv}	100.	99.1907	- 0.81
	σ_{zz}	0.	- 0.9707	-
	σ_{xv}	0.	- 0.2979	-
	ε_{xx}	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.49 \cdot 10^{-4}$	- 0.17
	ε_{vv}	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.88 \cdot 10^{-4}$	- 0.34
	ε_{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>	-
	σ_{xx}	0.	0.0388	-
	σ_{vv}	40.	40.0725	0.18
	σ_{zz}	0.	- 0.0046	-
	σ_{xv}	0.	0.1634	-
	ε_{xx}	$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 0.599 \cdot 10^{-4}$	- 0.15
	ε_{vv}	$2. \cdot 10^{-4}$	$2.003 \cdot 10^{-4}$	0.16
	ε_{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
	σ_{xx}	20.	19.1178	- 4.41
	σ_{vv}	20.	19.6399	- 1.80
	σ_{zz}	0.	- 1.0206	-
	σ_{xv}	- 80.	- 79.7804	- 0.27
	ε_{xx}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.677 \cdot 10^{-4}$	- 3.34
	ε_{vv}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.711 \cdot 10^{-4}$	1.50
	ε_{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
	σ_{xx}	20.	20.1903	0.95
	σ_{vv}	20.	19.9023	- 0.49
	σ_{zz}	0.	- 0.0016	-
	σ_{xv}	- 20.	- 20.0570	0.28
	ε_{xx}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.711 \cdot 10^{-4}$	1.57
	ε_{vv}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.692 \cdot 10^{-4}$	- 1.10
	ε_{xv}	$- 1.3 \cdot 10^{-4}$	$- 1.304 \cdot 10^{-4}$	0.28

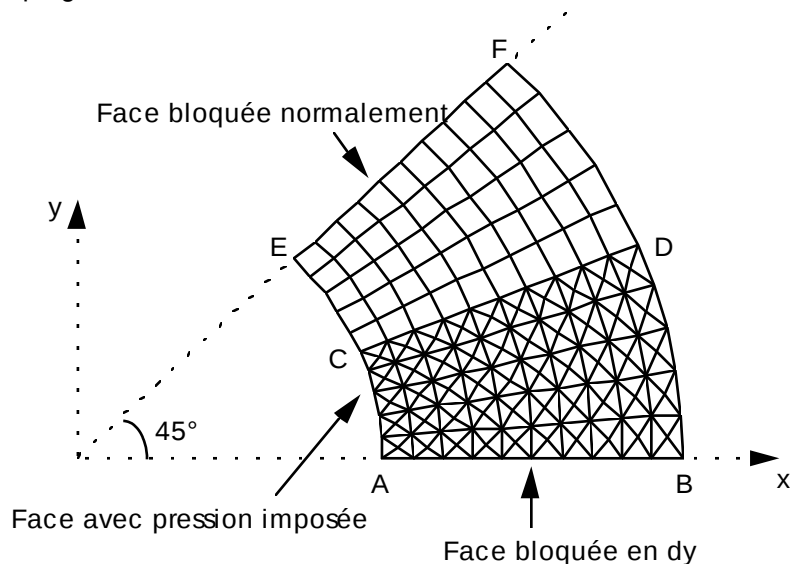
Localisation	Grandeur	Référence	Tolérance
Maille M1111, point A			
SIRO_ELEM	SIG_NX	60.0	1.0%
Contrainte normale à la face de l'élément	SIG_NY	0.0	3.0
	SIG_NZ	0.0	1.0
	SIG_TX	0.0	1.0
SIRO_ELEM	SIG_TY	0.0	2.5
	SIG_TZ	0.0	1.0
	SIG_T1X	0.0	0.01
Première valeur principale de la contrainte tangentielle dans le plan de l'élément	SIG_T1Y	0.0	0.01
	SIG_T1Z	0.0	1.0
	SIG_T2X	0.0	4.5
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
	SIG_TX	0.0	2.0
SIRO_ELEM	SIG_TY	0.0	2.0
	SIG_TZ	0.0	1.0
	SIG_T1X	0.0	0.01
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
	SIG_T2X	-70.711	5.0%
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 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

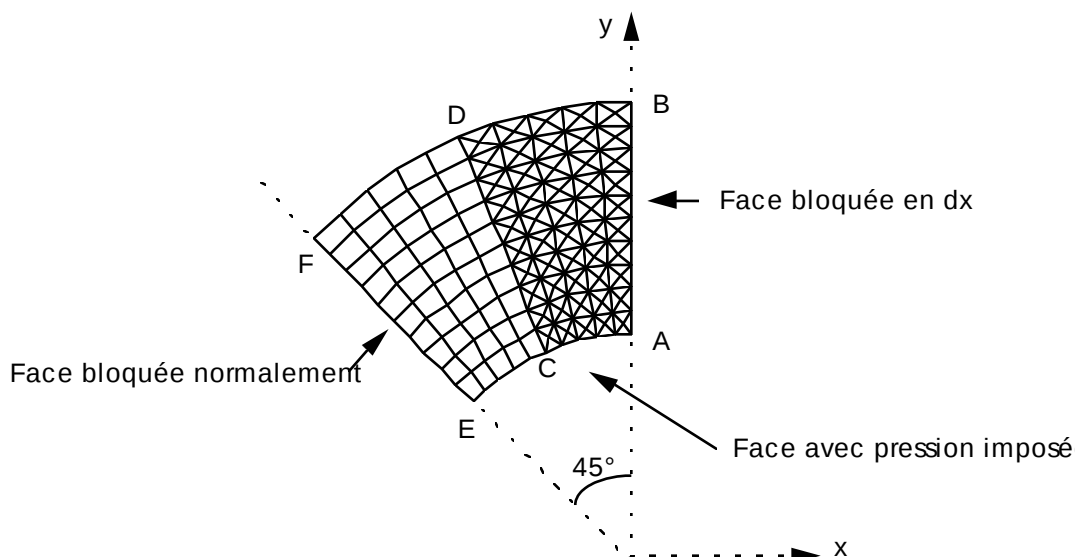
7.4 Grandeurs testées et résultats

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	-
	σ_{xx}	- 60.	- 59.3645	- 1.06
	σ_{vv}	100.	100.2653	0.26
	σ_{zz}	0.	0.	-
	σ_{xv}	0.	- 1.0472	-
	ε_{xx}	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.472 \cdot 10^{-4}$	- 0.62
	ε_{vv}	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.904 \cdot 10^{-4}$	0.06
	ε_{xv}	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	-
	σ_{xx}	0.	- 1.4986	-
	σ_{vv}	40.	39.4415	- 1.40
	σ_{zz}	0.	0.	-
	σ_{xv}	0.	- 0.2658	-
	ε_{xx}	$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 0.667 \cdot 10^{-5}$	11.09
	ε_{vv}	$2. \cdot 10^{-4}$	$1.995 \cdot 10^{-4}$	- 0.27
	ε_{xv}	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
	σ_{xx}	20.	19.0706	- 4.65
	σ_{vv}	20.	21.1354	5.68
	σ_{zz}	0.	0.	-
	σ_{xv}	- 80.	- 79.8720	- 0.16
	ε_{xx}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.636 \cdot 10^{-4}$	- 9.07
	ε_{vv}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.771 \cdot 10^{-4}$	10.10
	ε_{xv}	$- 5.2 \cdot 10^{-4}$	$- 5.192 \cdot 10^{-4}$	- 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
	σ_{xx}	20.	18.9626	- 5.19
	σ_{vv}	20.	19.8483	- 0.76
	σ_{zz}	0.	0.	-
	σ_{xv}	- 20.	- 20.2466	1.23
	ε_{xx}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.650 \cdot 10^{-4}$	- 7.08
	ε_{vv}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.708 \cdot 10^{-4}$	1.14
	ε_{xv}	$- 1.3 \cdot 10^{-4}$	$- 1.316 \cdot 10^{-4}$	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

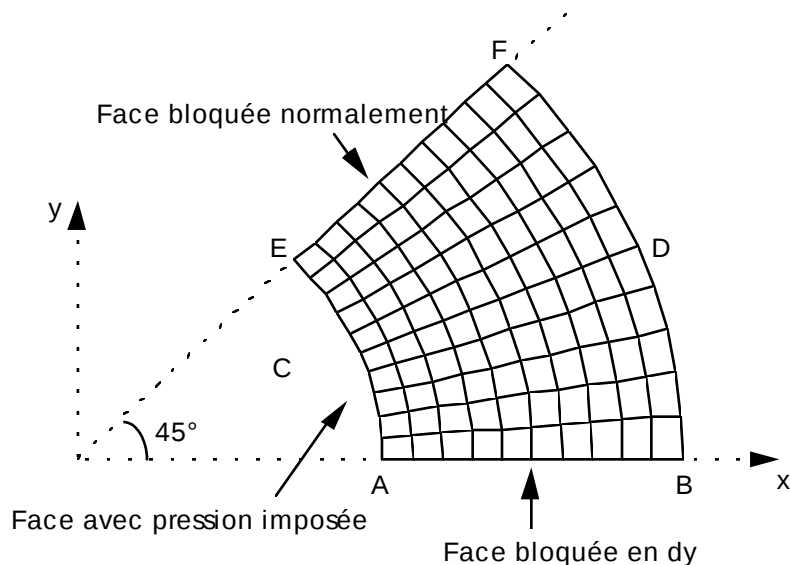
8.4 Grandeurs testées et résultats

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

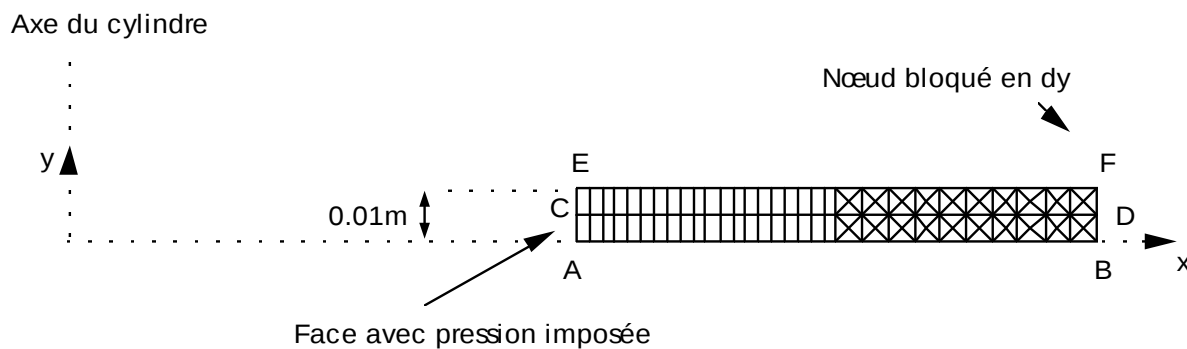
9.4 Grandeurs testées et résultats

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	-
	σ_{xx}	- 60.	- 59.8354	- 0.27
	σ_{vv}	100.	99.8409	- 0.16
	σ_{zz}	0.	0.	-
	σ_{xv}	0.	0.0283	-
	ε_{xx}	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.489 \cdot 10^{-4}$	-0.24
	ε_{vv}	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.890 \cdot 10^{-4}$	- 0.18
	ε_{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	-
	σ_{xx}	0.	-0.0189	-
	σ_{vv}	40.	40.0182	0.05
	σ_{zz}	0.	0.	-
	σ_{xv}	0.	$- 3.6815 \cdot 10^{-3}$	-
	ε_{xx}	$- 0.6 \cdot 10^{-4}$	$- 0.601 \cdot 10^{-4}$	0.20
	ε_{vv}	$2 \cdot 10^{-4}$	$2.001 \cdot 10^{-4}$	0.06
	ε_{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
	σ_{xx}	20.	19.9745	- 0.13
	σ_{vv}	20.	20.0311	0.16
	σ_{zz}	0.	0.	-
	σ_{xv}	- 80.	- 79.8382	- 0.20
	ε_{xx}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.698 \cdot 10^{-4}$	- 0.25
	ε_{vv}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.702 \cdot 10^{-4}$	0.28
	ε_{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
	σ_{xx}	20.	19.9960	- 0.02
	σ_{vv}	20.	20.0034	0.02
	σ_{zz}	0.	0.	-
	σ_{xv}	- 20.	- 20.0185	0.09
	ε_{xx}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.6997 \cdot 10^{-4}$	- 0.04
	ε_{vv}	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.7002 \cdot 10^{-4}$	0.03
	ε_{xv}	$- 1.3 \cdot 10^{-4}$	$- 1.301 \cdot 10^{-4}$	0.09

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

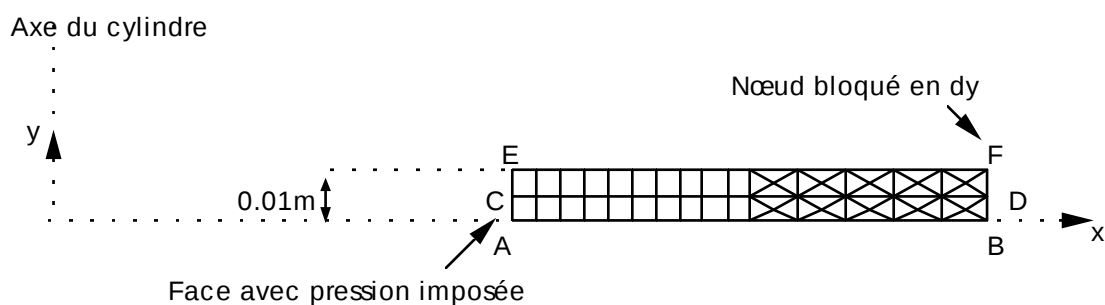
10.3 Grandeurs testées et résultats

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

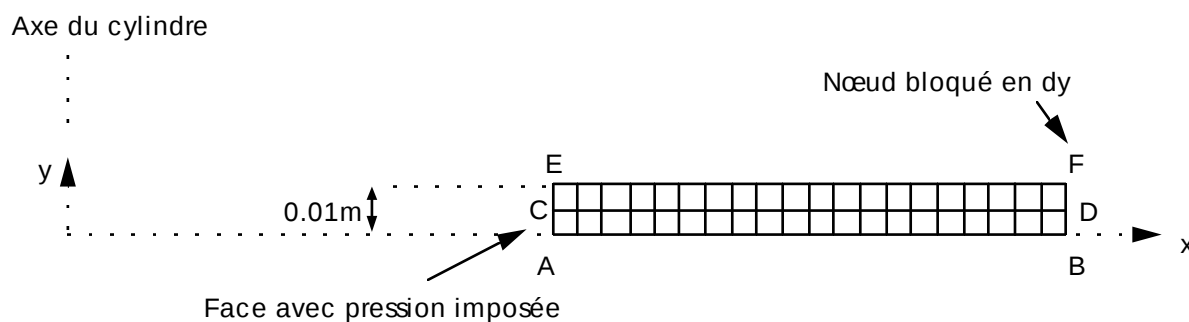
Localisation	Grandeur	Référence	Aster	% différence
<i>A</i>	<i>u</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.9000 \cdot 10^{-5}$	0.00
	<i>v</i>	0.	-	-
	σ_{xx}	- 60.	- 59.8976	- 0.17
	σ_{vv}	0.	- 0.0024	-
	σ_{zz}	100.	99.9089	- 0.09
	σ_{xv}	0.	- 0.0137	-
	ε_{xx}	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.493 \cdot 10^{-4}$	- 0.14
	ε_{vv}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

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

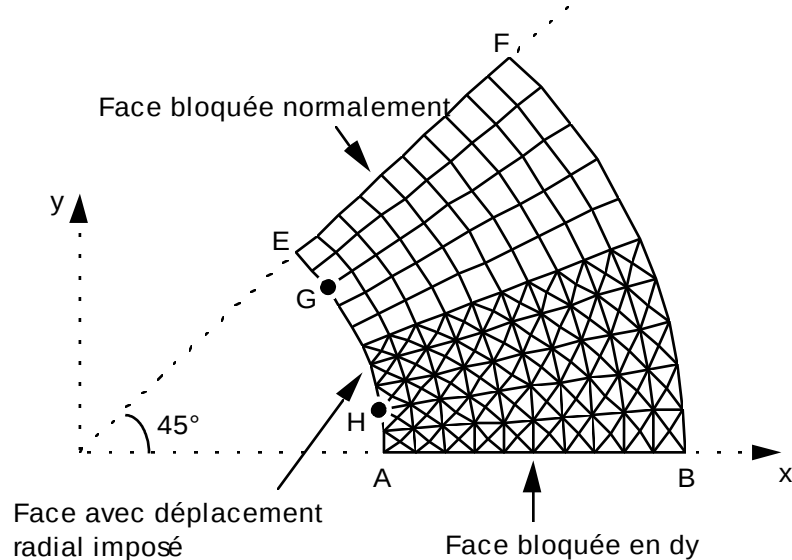
Localisation	Grandeur	Référence	Aster	% différence
<i>A</i>	<i>u</i>	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.9000 \cdot 10^{-5}$	0.00
	<i>v</i>	0.	-	-
	σ_{xx}	- 60.	- 59.8997	- 0.17
	σ_{vv}	0.	- 0.0035	-
	σ_{zz}	100.	99.9080	- 0.09
	σ_{xv}	0.	- 0.0141	-
	ε_{xx}	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.494 \cdot 10^{-4}$	- 0.14
	ε_{vv}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

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	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

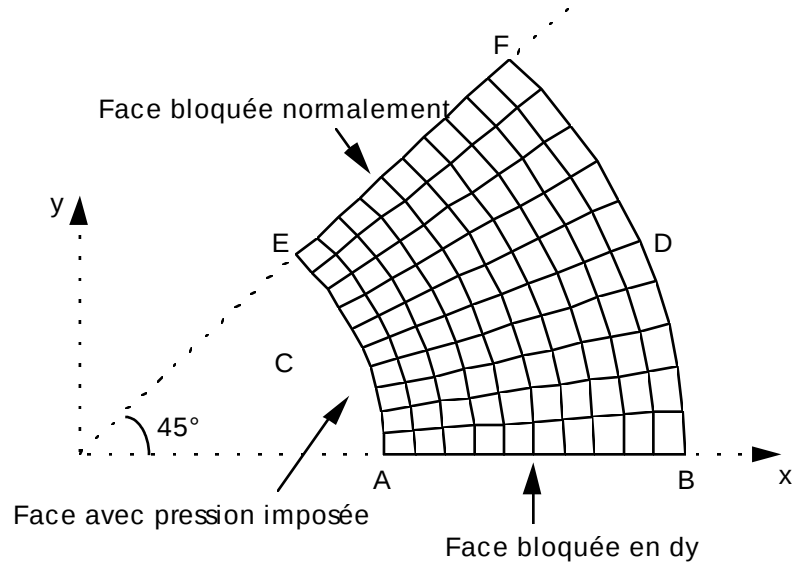
13.5 Remarques

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

Éléments 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

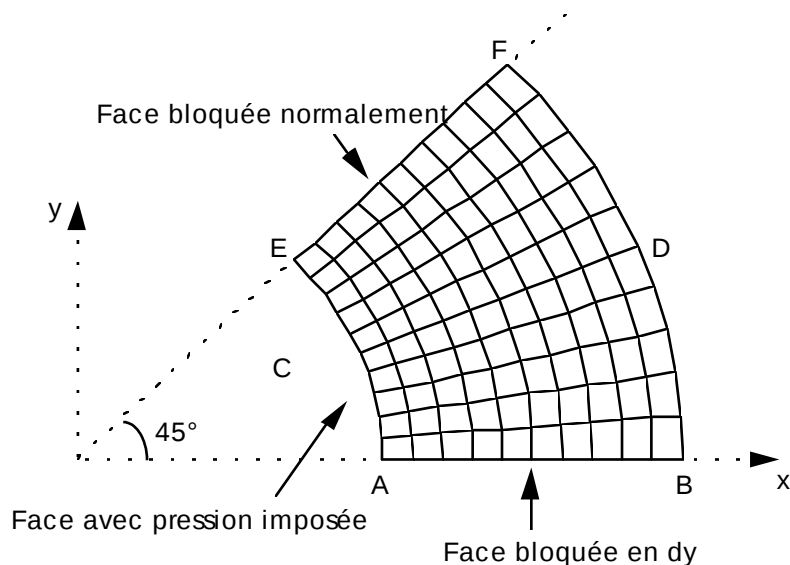
14.4 Grandeurs testées et résultats

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

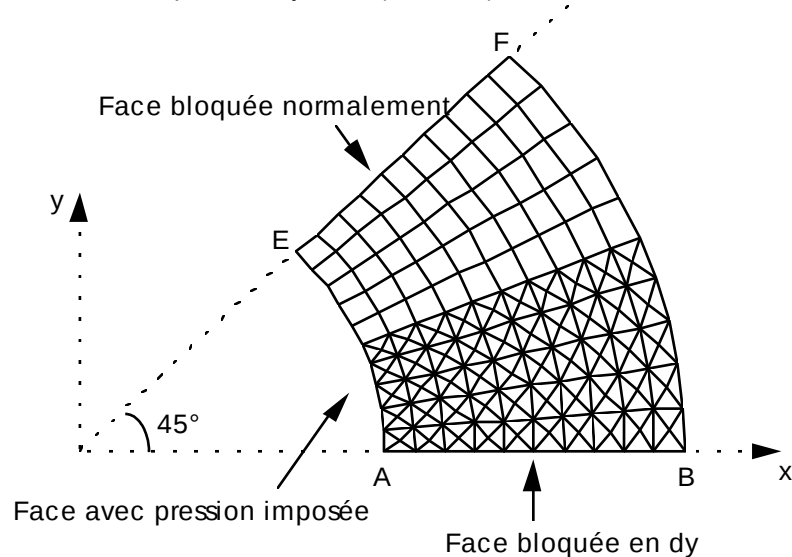
Identification	Référence	Aster	% différence
u -nœud (A)	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8999 \cdot 10^{-5}$	- 0.002
v -nœud (A)	0.	eps	-
σ_{xx} -nœud (A)	- 60.	- 59.9880	- 0.02
σ_{yy} -nœud (A)	100.	100.1277	0.13
σ_{zz} -nœud (A)	0.	0.0425	-
σ_{xy} -nœud (A)	0.	- 0.0913	-
ε_{xx} -nœud (A)	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$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

16.5 Grandeurs testées et résultats

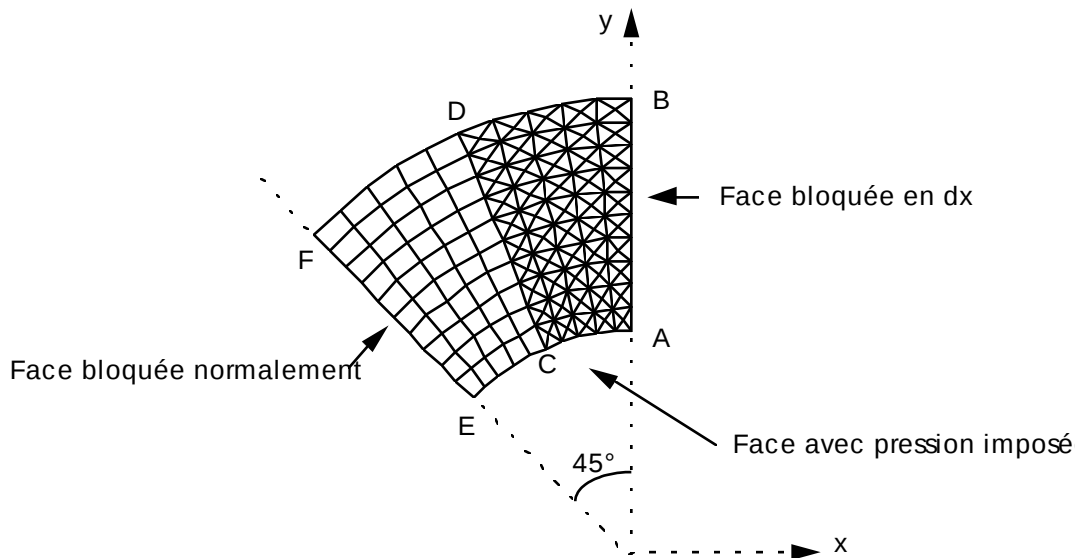
Identification	Référence	Aster	% différence
u -nœud (A)	$5.6 \cdot 10^{-5}$	$5.6000 \cdot 10^{-5}$	0.00
v -nœud (A)	0.	eps	-
σ_{xx} -nœud (A)	-60.	-59.5972	-0.67
σ_{yy} -nœud (A)	100.	99.5187	-0.48
σ_{zz} -nœud (A)	20.	19.9584	-0.21
σ_{xy} -nœud (A)	0.	eps	-
u -nœud (B)	$3.4 \cdot 10^{-5}$	$3.4000 \cdot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

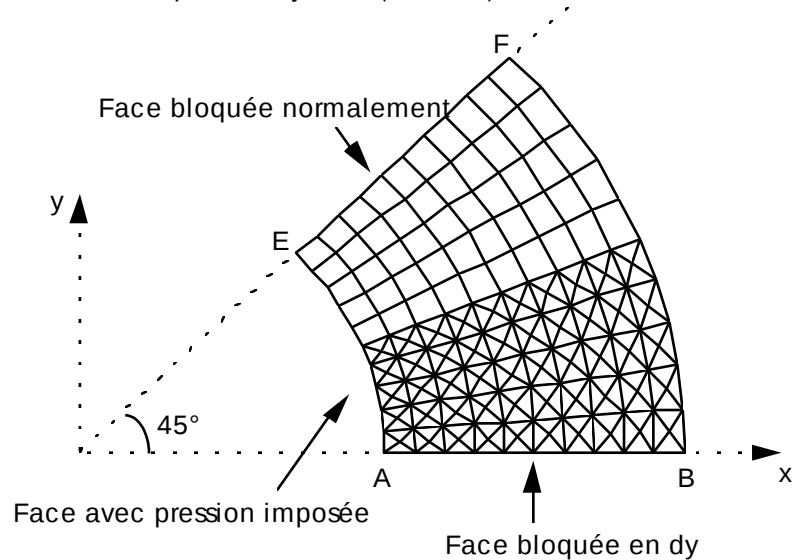
Identification	Référence	Aster	% différence
u -nœud (A)	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8999 \cdot 10^{-5}$	- 0.002
v -nœud (A)	0.	eps	-
σ_{xx} -nœud (A)	-60.	-59.5340	- 0.78
σ_{yy} -nœud (A)	100.	99.5453	- 0.45
σ_{zz} -nœud (A)	0.	0.	-
σ_{xy} -nœud (A)	0.	eps	-
u -nœud (B)	$4. \cdot 10^{-5}$	$3.99996 \cdot 10^{-5}$	0.00
v -nœud (B)	0.	0.	-
σ_{xx} -nœud (B)	0.	$2.6874 \cdot 10^{-2}$	-
σ_{yy} -nœud (B)	40.	39.9716	- 0.07
σ_{zz} -nœud (B)	0.	0.	-
σ_{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
σ_{xx} -nœud (E)	20.	20.2875	1.44
σ_{yy} -nœud (E)	20.	20.2875	1.44
σ_{zz} -nœud (E)	0.	0.	-
σ_{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
σ_{xx} -nœud (F)	20.	20.0167	0.08
σ_{yy} -nœud (F)	20.	20.0167	0.08
σ_{zz} -nœud (F)	0.	0.	-
σ_{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	$5.6 \cdot 10^{-5}$	$5.6000 \cdot 10^{-5}$	0.00
v-nœud (A) à t=1. s	0.	eps	-
σ_{xx} -nœud (A) à t=1. s	-60.	-59.5414	-0.76
σ_{yy} -nœud (A) à t=1. S	100.	99.6183	-0.38
σ_{zz} -nœud (A) à t=1. S	20.	19.9976	-0.01
σ_{xy} -nœud (A) à t=1. S	0.	eps	-
σ_{xx} -nœud (A) à t=2. S	-120.	-119.0829	-0.76
σ_{yy} -nœud (A) à t=2. S	200.	199.2366	-0.38
σ_{zz} -nœud (A) à t=2. S	40.	39.9952	-0.01
σ_{xy} -nœud (A) à t=2. S	0.	eps	-
u-nœud (B) à t=1. s	$3.4 \cdot 10^{-5}$	$3.4000 \cdot 10^{-5}$	0.00
v-nœud (B) à t=1. s	0.	eps	-
σ_{xx} -nœud (B) à t=1. S	0.	$2.6761 \cdot 10^{-2}$	-
σ_{yy} -nœud (B) à t=1. S	40.	39.9740	-0.06
σ_{zz} -nœud (B) à t=1. S	20.	19.9973	-0.01
σ_{xy} -nœud (B) à t=1. S	0.	eps	-
σ_{xx} -nœud (B) à t=2. S	0.	$5.3523 \cdot 10^{-2}$	-
σ_{yy} -nœud (B) à t=2. S	80.	79.9480	-0.06
σ_{zz} -nœud (B) à t=2. S	40.	39.9946	-0.01
σ_{xy} -nœud (B) à t=2. S	0.	eps	-
σ_{xx} -nœud (E) à t=1. S	20.	20.3287	1.64
σ_{yy} -nœud (E) à t=1. S	20.	20.3287	1.64
σ_{zz} -nœud (E) à t=1. S	20.	20.1739	0.87
σ_{xy} -nœud (E) à t=1. S	-80.	-79.9775	-0.03
σ_{xx} -nœud (E) à t=2. S	40.	40.6575	1.64
σ_{yy} -nœud (E) à t=2. s	40.	40.6575	1.64
σ_{zz} -nœud (E) à t=2. s	40.	40.3479	0.87
σ_{xy} -nœud (E) à t=2. s	-160.	-159.9550	-0.03
σ_{xx} -nœud (F) à t=1. S	20.	20.0176	0.09
σ_{yy} -nœud (F) à t=1. S	20.	20.0176	0.09
σ_{zz} -nœud (F) à t=1. S	20.	20.0072	0.04
σ_{xy} -nœud (F) à t=1. S	-20.	-20.0027	0.01
σ_{xx} -nœud (F) à t=2. S	40.	40.0351	0.09
σ_{yy} -nœud (F) à t=2. S	40.	40.0351	0.09
σ_{zz} -nœud (F) à t=2. S	40.	40.0144	0.04
σ_{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
no									
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
σ_{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
σ_{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
σ_{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
σ_{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 σ_{xx}	A, E	4.65	0.39	0.27	1.44
	B, F	5.19	0.06	0.02	0.08
Contraintes σ_{yy}	A, E	5.68	0.90	0.16	1.44
	B, F	1.40	0.04	0.05	0.08
Contraintes σ_{zz}	A, E	Bon	Bon	Bon	Bon
	B, F	Bon	Bon	Bon	Bon
Contraintes σ_{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 σ_{xx}	A, E	5.66	0.17	0.17
	B, F	Bon	Bon	Bon
Contraintes σ_{yy}	A, E	Bon	Bon	Bon
	B, F	Bon	Bon	Bon
Contraintes σ_{zz}	A, E	1.29	0.09	0.09
	B, F	1.00	0.07	0.02
Contraintes σ_{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.