

Manuel de Validation
Fascicule V3.04 : Statique linéaire des structures volumiques
Document V3.04.004

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 noeuds),
- en 2D axisymétrique : 3 modélisations (triangles et quadrangles degrés 1 et 2, quadrangles à 9 noeuds).

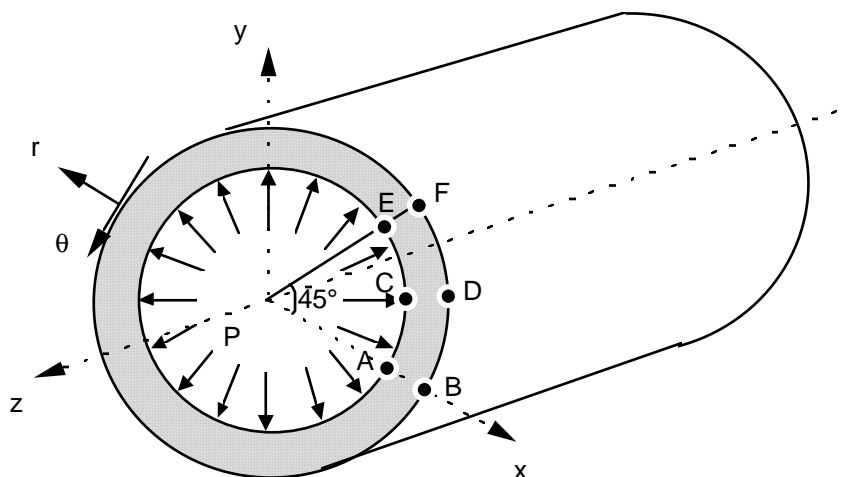
Les fonctionnalités testées sont :

- pression répartie,
- effet de fond (avec pression fixe ou variable),
- déplacements imposés,
- matrices de rigidité,
- déformations et contraintes aux noeuds,
- 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

$E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

$\nu = 0.3$

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)

$$\sigma_{zz} = 0$$

$$\sigma_{rr} = P \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left[1 - \frac{b^2}{r^2} \right]$$

$$\sigma_{\theta\theta} = P \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left[1 + \frac{b^2}{r^2} \right]$$

$$\sigma_{r\theta} = 0$$

$$u_r = \frac{P}{E} \frac{a^2}{b^2 - a^2} \left[(1 - \nu) + (1 + \nu) \frac{b^2}{r^2} \right] r$$

On obtient :

pour $r = 0.1$	$u_r = 59.10^{-6}$	pour $r = 0.2$	$u_r = 40.10^{-6}$
	$\sigma_{rr} = -60.$		$\sigma_{rr} = 0.$
	$\sigma_{\theta\theta} = 100.$		$\sigma_{\theta\theta} = 40.$
	$\sigma_{zz} = \sigma_{r\theta} = 0.$		$\sigma_{zz} = \sigma_{r\theta} = 0.$

Passage dans le système d'axes cartésiens :

$$\sigma_{xx} = \sigma_{rr} \cos^2 \theta + \sigma_{\theta\theta} \sin^2 \theta - 2 \sigma_{r\theta} \sin \theta \cos \theta$$

$$\sigma_{yy} = \sigma_{rr} \sin^2 \theta + \sigma_{\theta\theta} \cos^2 \theta + 2 \sigma_{r\theta} \sin \theta \cos \theta$$

$$\sigma_{xy} = \sigma_{rr} \sin \theta \cos \theta - \sigma_{\theta\theta} \sin \theta \cos \theta - 2 \sigma_{r\theta} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)$$

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

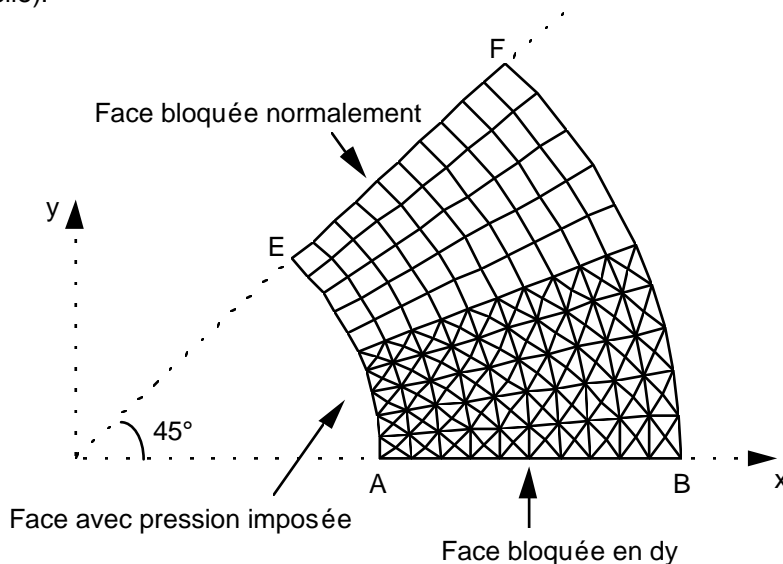
- [1] Guide VPCS. SSLV04/89
- [2] Y. C. FUNG. Foundations of solid mechanics. Prentice-hall, inc. Englewood Cliffs. NJ. 1965 p. 243 à 245.
- [3] J. COURBON. Résistance des matériaux p 649

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments 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
Epaisseur totale : 0.01

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 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO FACE_IMPO PRES_REP	GROUP_NO GROUP_MA GROUP_MA	DNOR
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'3D'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_NO	'EPSI_NOEU_DEPL' 'SIGM_NOEU_DEPL'		
POST_RELEVÉ	'EXTRACTION'		
MODI_REPERE	DEFI_REPERE	'UTILISATEUR' 'CYLINDRIQUE'	

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

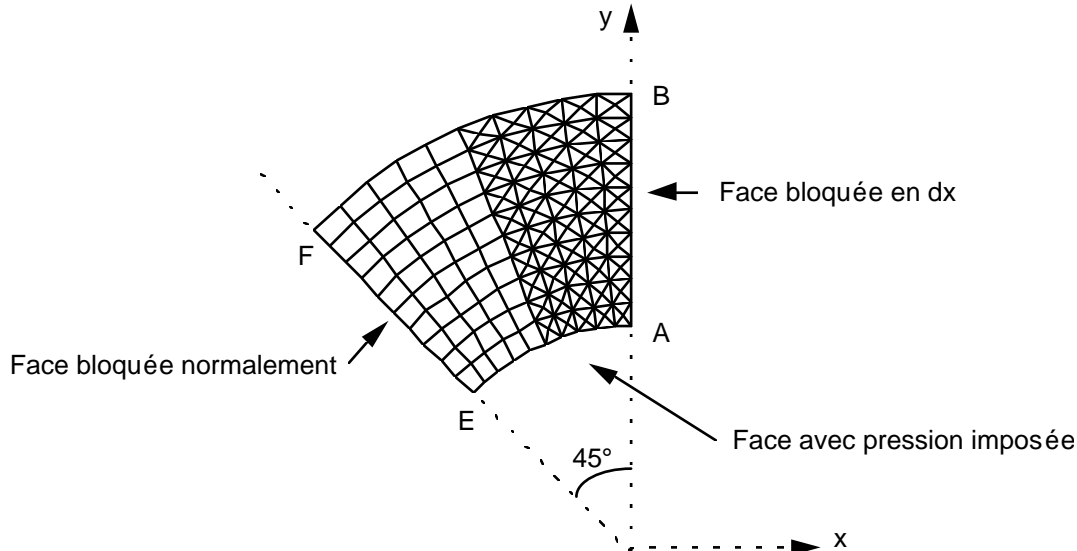
Localisation	Grandeur	Référence	Aster	% différence
A	u	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8950 \cdot 10^{-5}$	0.08
	v	0.	eps	-
	σ_{xx}	-60.	- 59.2225	1.30
	σ_{yy}	100.	100.4159	0.42
	σ_{zz}	0.	0.3093	-
	σ_{xy}	0.	- 1.0442	-
	ε_{xx}	$-4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.472 \cdot 10^{-4}$	0.62
	ε_{yy}	$5.9 \cdot 10^{-4}$	$5.904 \cdot 10^{-4}$	0.08
	ε_{xy}	0.	$- 6.788 \cdot 10^{-5}$	-
B	u	$4 \cdot 10^{-5}$	$3.9959 \cdot 10^{-5}$	0.10
	v	0.	eps	-
	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.	$- 1.728 \cdot 10^{-6}$	-
E	u	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.1708 \cdot 10^{-5}$	0.03
	v	$4.17193 \cdot 10^{-5}$	$4.1708 \cdot 10^{-5}$	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
F	u	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.8302 \cdot 10^{-5}$	0.06
	v	$2.82843 \cdot 10^{-5}$	$2.8302 \cdot 10^{-5}$	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

5 Modélisation B

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments 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 : 0.01

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

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 2115

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

5.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO FACE_IMPO PRES_REP	GROUP_NO GROUP_MA GROUP_MA	DNOR
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'3D'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_CHAM_ELEM	'SIGM_ELNO_DEPL' 'EPSI_ELNO_DEPL'		
POST_RELEVÉ	'EXTRACTION'		

6 Résultats de la modélisation B

6.1 Valeurs testées

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

7 Modélisation C

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments 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 : 0.01

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

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1115
Nombre de mailles et types : 3724 TETRA4 et 1760 TRIA3 (faces peau interne)

7.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO FACE_IMPO PRES_REP	GROUP_NO GROUP_MA GROUP_MA	DNOR
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'3D'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_NO	'EPSI_NOEU_DEPL' 'SIGM_NOEU_DEPL'		

8 Résultats de la modélisation C

8.1 Valeurs testées

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

9 Modélisation D

9.1 Caractéristiques de la modélisation

Elément 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 : 0.01

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

9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1395

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

9.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO	
	FACE_IMPO	GROUP_MA	DNOR
	PRES_REP	GROUP_MA	
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'3D'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_NO	'EPSI_NOEU_DEPL'		
	'SIGM_NOEU_DEPL'		

10 Résultats de la modélisation D

10.1 Valeurs testées

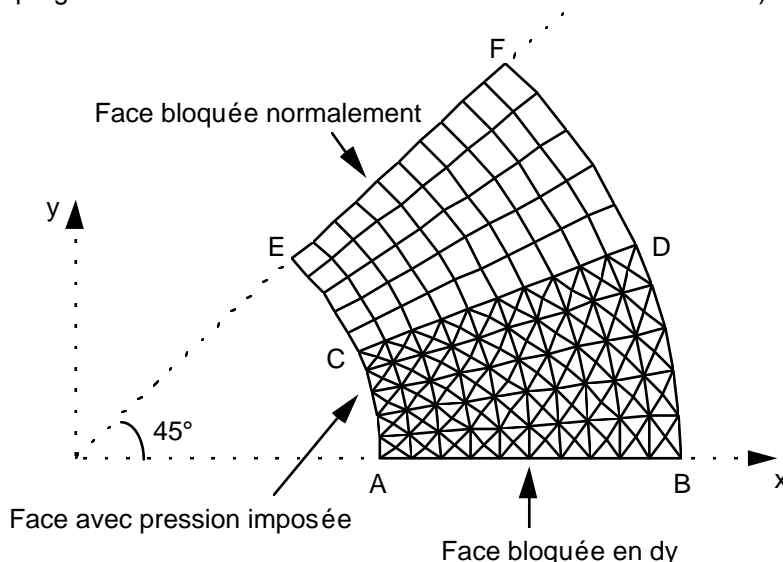
Localisation	Grandeur	Référence	Aster	% différence
A	u	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8974 \cdot 10^{-5}$	- 0.04
	v	0.	eps	-
	σ_{xx}	- 60.	- 60.3816	0.64
	σ_{yy}	100.	99.1907	- 0.81
	σ_{zz}	0.	- 0.9707	-
	σ_{xy}	0.	- 0.2979	-
	ε_{xx}	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.49 \cdot 10^{-4}$	- 0.17
	ε_{yy}	$5.9 \cdot 10^{-4}$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

11 Modélisation E

11.1 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

11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 961
Nombre de mailles et types : 900 TRIA3, 450 QUAD4

11.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO	
	FACE_IMPO	GROUP_MA	DNOR
	PRES_REP	GROUP_MA	
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'C_PLAN'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_NO	'EPSI_NOEU_DEPL'		
	'SIGM_NOEU_DEPL'		
MODI_REPERE	DEFI_REPERE	'CYLINDRIQUE'	

12 Résultats de la modélisation E

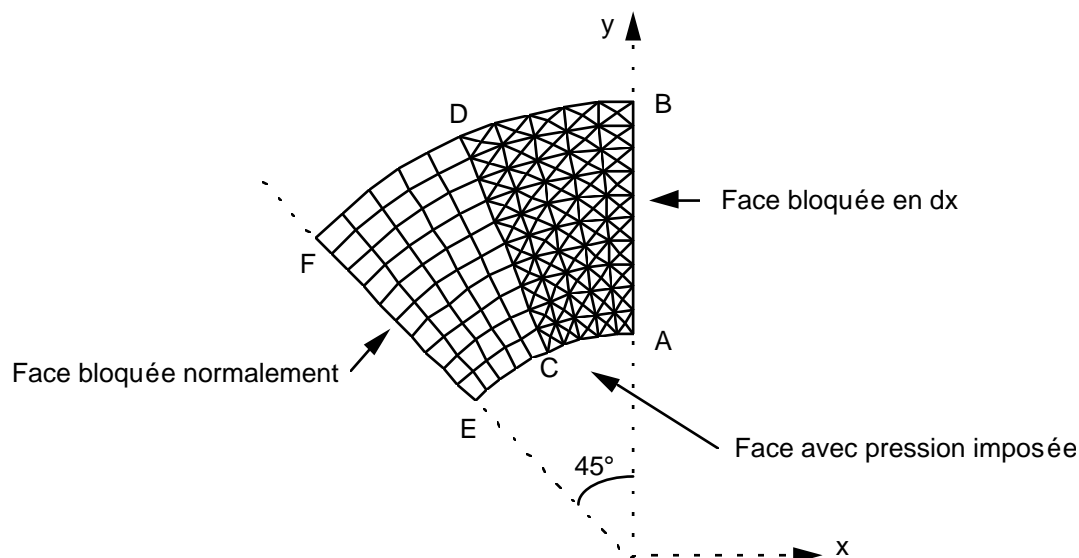
12.1 Valeurs testées

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

13 Modélisation F

13.1 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

13.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 591
Nombre de mailles et types : 200 TRIA6, 50 QUAD8

13.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO	
	FACE_IMPO	GROUP_MA	DNOR
	PRES_REP	GROUP_MA	
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'C_PLAN'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_CHAM_ELEM	'SIGM_ELNO_DEPL'		
POST_RELEVÉ	'EXTRACTION'		

14 Résultats de la modélisation F

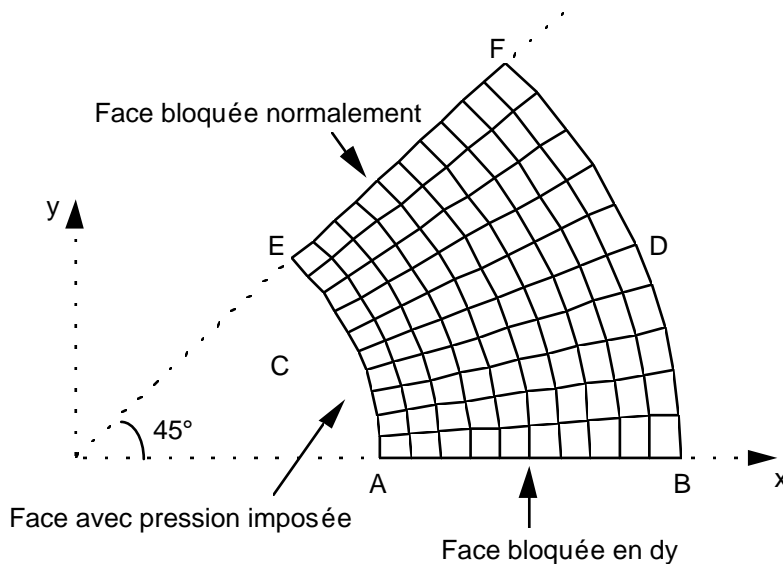
14.1 Valeurs testées

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

15 Modélisation G

15.1 Caractéristiques de la 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

15.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 441
Nombre de mailles et types : 100 QUAD9

15.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO	
	FACE_IMPO	GROUP_MA	DNOR
	PRES_REP	GROUP_MA	
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'C_PLAN'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_CHAM_ELEM	'SIGM_ELNO_DEPL'		

16 Résultats de la modélisation G

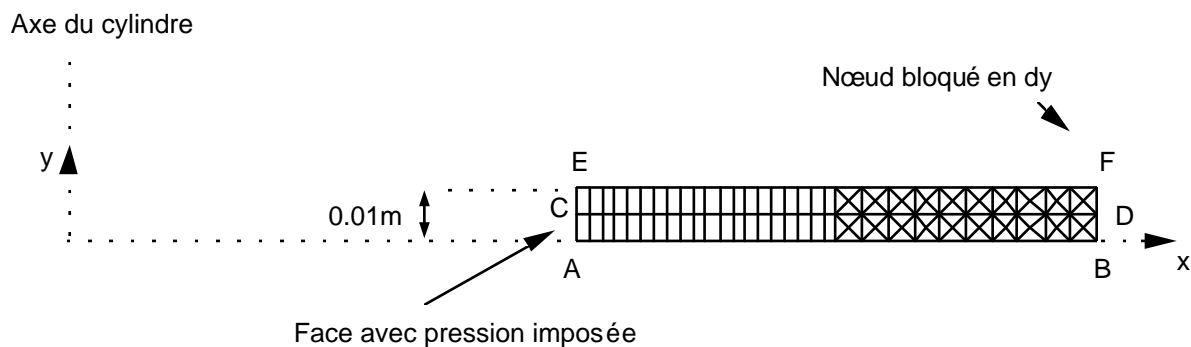
16.1 Valeurs testées

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

17 Modélisation H

17.1 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

17.2 Caractéristiques du maillage

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

17.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO	
	FACE_IMPO	GROUP_MA	DNOR
	PRES_REP	GROUP_MA	
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'AXIS'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_CHAM_ELEM	'SIGM_ELNO_DEPL'		
CREA_RESU	EVOL_ELAS	DEPL	
CALC_ELEM	'SIGM_ELNO_DEPL'		
INTE_MAIL_2D			
POST_RCCM			

18 Résultats de la modélisation H

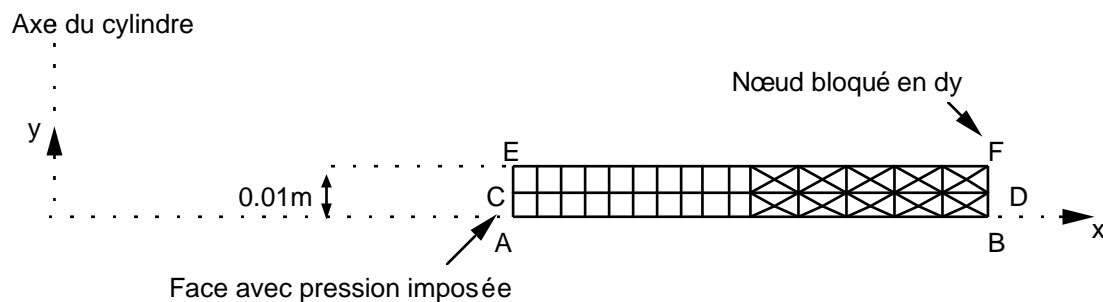
18.1 Valeurs testées

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

19 Modélisation I

19.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments axis (TRIA6 + QUAD8)



Conditions limites :

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

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

19.2 Caractéristiques du maillage

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

19.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO FACE_IMPO PRES_REP	GROUP_NO GROUP_MA GROUP_MA	DNOR
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'AXIS'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_CHAM_ELEM	'SIGM_ELNO_DEPL'		
POST_RELEVÉ	'EXTRACTION'		

20 Résultats de la modélisation I

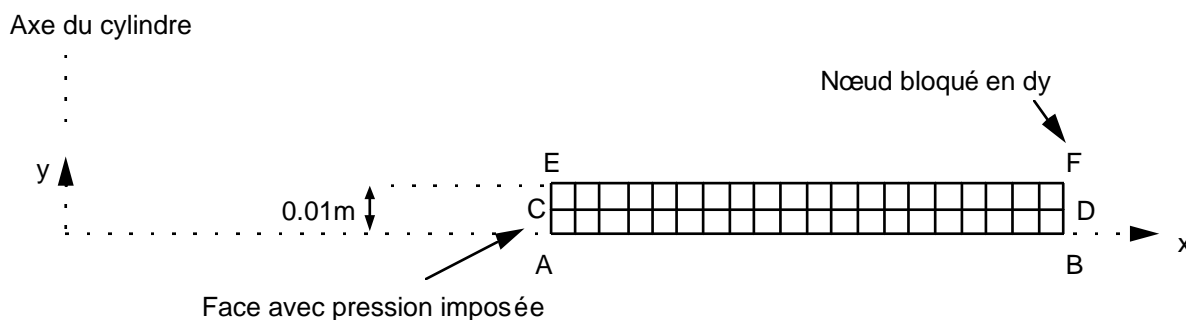
20.1 Valeurs testées

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

21 Modélisation J

21.1 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

21.2 Caractéristiques du maillage

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

21.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO	
	FACE_IMPO	GROUP_MA	DNOR
	PRES_REP	GROUP_MA	
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'AXIS'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_CHAM_ELEM	'SIGM_ELNO_DEPL'		
POST_RELEVE	'EXTRACTION'		

22 Résultats de la modélisation J

22.1 Valeurs testées

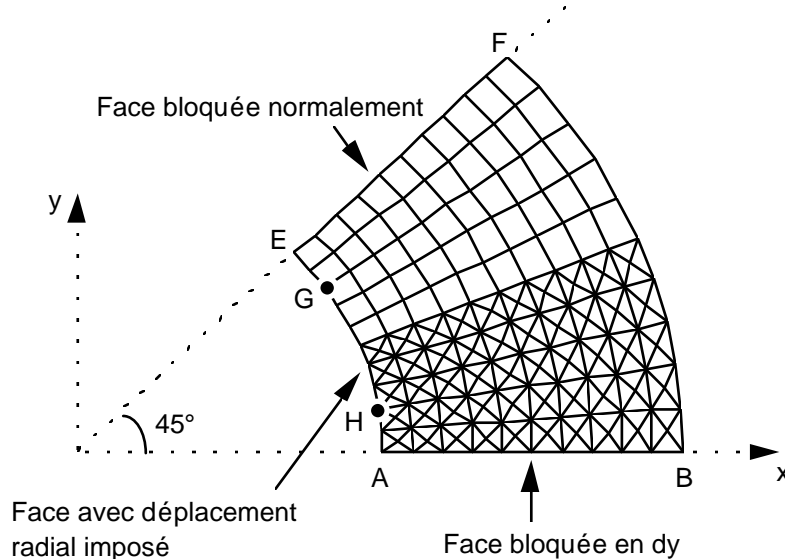
Localisation	Grandeur	Référence	Aster	% différence
A	u	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.9000 \cdot 10^{-5}$	0.00
	v	0.	-	-
	σ_{xx}	-60.	-59.8997	-0.17
	σ_{yy}	0.	-0.0035	-
	σ_{zz}	100.	99.9080	-0.09
	σ_{xy}	0.	-0.0141	-
	ε_{xx}	$-4.5 \cdot 10^{-4}$	$-4.494 \cdot 10^{-4}$	-0.14
	ε_{yy}	0.	$-6.003 \cdot 10^{-5}$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

23 Modélisation K

23.1 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 : 0.01

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 :
plan z = 0.005
plan z = 0.01

A = No1	C = No36	D = No166
A2 = No172	C2 = No242	D2 = No5025
A3 = No173	C3 = No243	D3 = No503

Noms des nœuds :
plan z = 0.005
plan z = 0.01

E = No41	H = No9	G = No38
E2 = No252	H2 = No188	G2 = No246
E3 = No253	H3 = No189	G3 = No247

23.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 513

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

23.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO	
	FACE_IMPO	GROUP_MA	DNOR
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'3D'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_NO	'REAC_NODA'		
MODI_MAILLAGE	ORIE_PEAU_3D		

23.4 Remarques

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

24 Résultats de la modélisation K

24.1 Valeurs testées

Localisation	Grandeur	Référence	Aster	% différence
C	Fx	1.0884 E-3	1.0953 E-3	0.64
	Fy	4.5084 E-4	4.5836 E-4	1.67
C ₂	Fx	2.1768 E-3	2.1571 E-3	- 0.91
	Fy	9.0170 E-4	9.1304 E-4	1.26
C ₃	Fx	1.0884 E-3	1.0953 E-3	0.64
	Fy	4.5084 E-4	4.5836 E-4	1.67
H	Fx	1.1636 E-3	1.1709 E-3	0.63
	Fy	1.8429 E-4	1.8527 E-4	0.53
G	Fx	1.0045 E-3	1.0144 E-3	0.99
	Fy	6.1550 E-4	6.2117 E-4	0.92
H ₂	Fx	2.3272 E-3	2.3173 E-3	- 0.43
	Fy	3.6858 E-4	3.6669 E-4	- 0.51
G ₂	Fx	2.0090 E-3	1.9951 E-3	- 0.69
	Fy	1.2310 E-3	1.2214 E-3	- 0.78

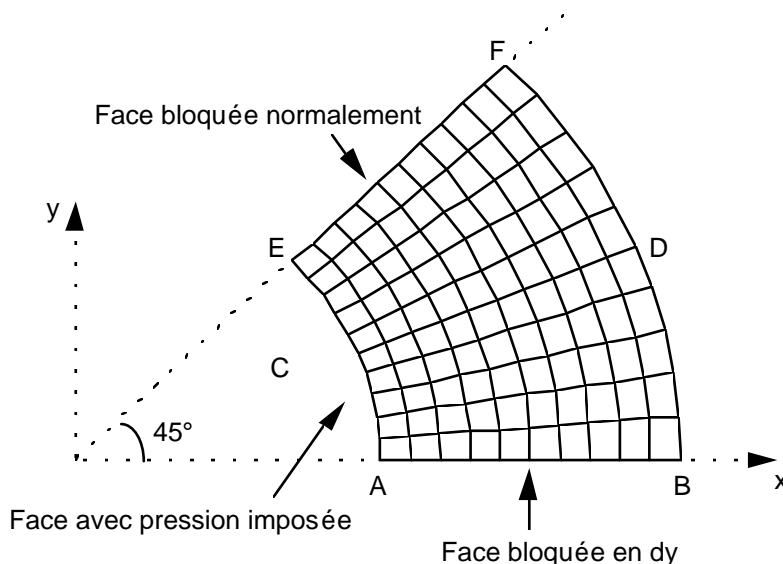
24.2 Remarques

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.

25 Modélisation L

25.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments 3D (PYRAM5)



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

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

25.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 342
Nombre de mailles et types : 600 PYRAM5 620 QUAD4 (faces peau interne)

25.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO FACE_IMPO PRES_REP	GROUP_NO GROUP_MA GROUP_MA	DNOR
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'3D'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_CHAM_ELEM	'SIGM_ELNO_DEPL' 'EPSI_ELNO_DEPL' 'SIEF_ELGA_DEPL' 'ENDO_ELNO_SIGM'		

26 Résultats de la modélisation L

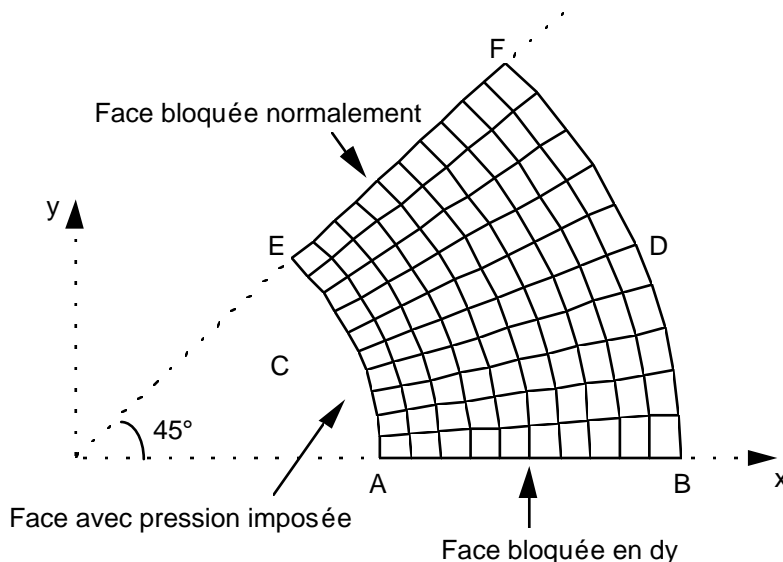
26.1 Valeurs testées

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

27 Modélisation M

27.1 Caractéristiques de la modélisation

Eléments 3D (PYRAM13)



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

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

27.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1703
Nombre de mailles et types : 600 PYRAM13 620 QUAD8 (faces peau interne)

27.3 Fonctionnalités testées

Commandes

MODI_MAILLAGE	ORIE_PEAU_3D		
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO	
	FACE_IMPO	GROUP_MA	DNOR
	PRES_REP	GROUP_MA	
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'3D'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_CHAM_ELEM	'SIGM_ELNO_DEPL'		
	'EPSI_ELNO_DEPL'		
	'SIEF_ELGA_DEPL'		
	'ENDO_ELNO_SIGM'		

28 Résultats de la modélisation M

28.1 Valeurs testées

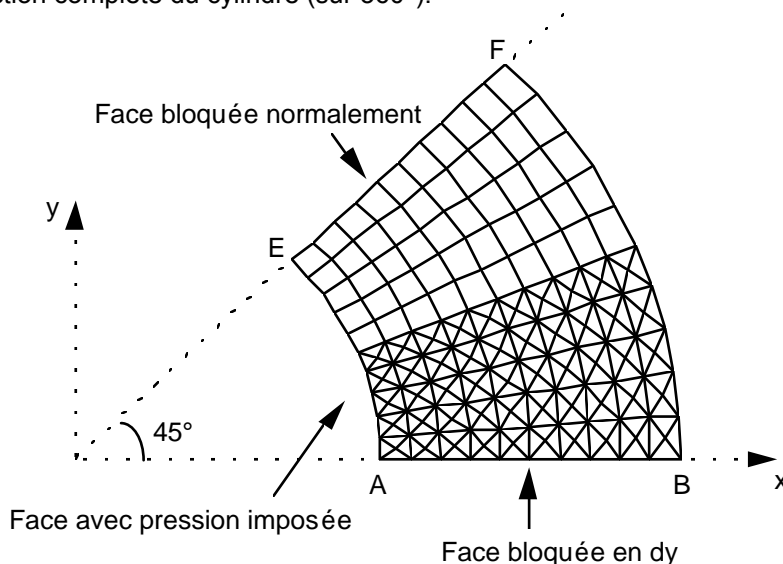
Identification	Référence	Aster	% différence
u-nœud (A)	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8999 \cdot 10^{-5}$	- 0.002
v-nœud (A)	0.	eps	-
σ_{xx} -nœud (A)	- 60.	- 59.9880	- 0.02
σ_{yy} -nœud (A)	100.	100.1277	0.13
σ_{zz} -nœud (A)	0.	0.0425	-
σ_{xy} -nœud (A)	0.	- 0.0913	-
ε_{xx} -nœud (A)	$- 4.5 \cdot 10^{-4}$	$- 4.502 \cdot 10^{-4}$	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)	$0.7 \cdot 10^{-4}$	$0.699 \cdot 10^{-5}$	- 0.13
ε_{xy} -nœud (F)	$- 1.3 \cdot 10^{-4}$	$- 1.299 \cdot 10^{-5}$	- 0.09

29 Modélisation N

29.1 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 : 0.01

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

29.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8832

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

29.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO	
	FACE_IMPO	GROUP_MA	DNOR
	PRES_REP	GROUP_MA	
	EFFE_FOND		
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'3D'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_NO	'EPSI_NOEU_DEPL'		
	'SIGM_NOEU_DEPL'		

29.4 Remarques

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

30 Résultats de la modélisation N

30.1 Valeurs testées

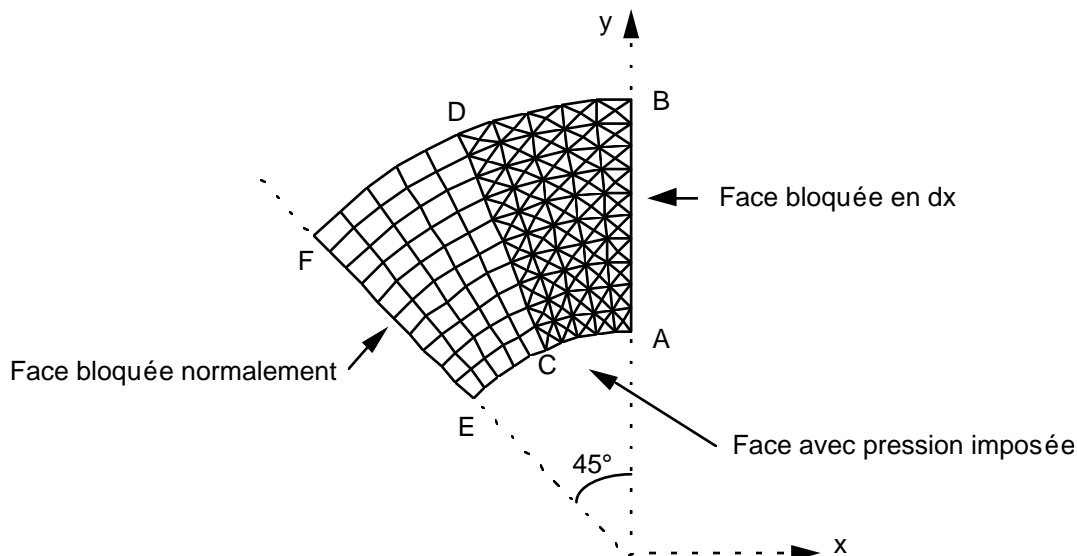
Identification	Référence	Aster	% différence
u-nœud (A)	$5.6 \cdot 10^{-5}$	$5.6000 \cdot 10^{-5}$	0.00
v-nœud (A)	0.	eps	-
σ_{xx} -nœud (A)	-60.	-59.5972	- 0.67
σ_{yy} -nœud (A)	100.	99.5187	- 0.48
σ_{zz} -nœud (A)	20.	19.9584	- 0.21
σ_{xy} -nœud (A)	0.	eps	-
u-nœud (B)	$3.4 \cdot 10^{-5}$	$3.4000 \cdot 10^{-5}$	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

31 Modélisation O

31.1 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

31.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 3840
Nombre de mailles et types : 1026 TRIA6, 512 QUAD8

31.3 Fonctionnalités testées

Commandes

MODI_MAILLAGE	ORIE_PEAU_2D		
AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO	GROUP_NO	
	FACE_IMPO	GROUP_MA	DNOR
	PRES_REP	GROUP_MA	
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'C_PLAN'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_ELEM	'SIEF_ELGA_DEPL'		
CALC_NO	'EPSI_NOEU_DEPL'		
	'SIGM_NOEU_DEPL'		

32 Résultats de la modélisation O

32.1 Valeurs testées

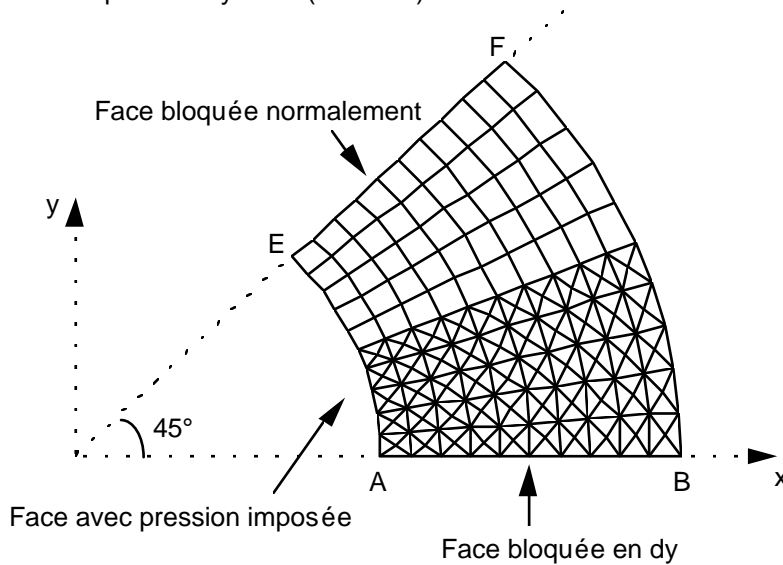
Identification	Référence	Aster	% différence
u-nœud (A)	$5.9 \cdot 10^{-5}$	$5.8999 \cdot 10^{-5}$	- 0.002
v-nœud (A)	0.	eps	-
σ_{xx} -nœud (A)	-60.	-59.5340	- 0.78
σ_{yy} -nœud (A)	100.	99.5453	- 0.45
σ_{zz} -nœud (A)	0.	0.	-
σ_{xy} -nœud (A)	0.	eps	-
u-nœud (B)	$4. \cdot 10^{-5}$	$3.99996 \cdot 10^{-5}$	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

33 Modélisation P

33.1 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 : 0.01

Conditions limites :

face EF bloquée normalement
face AB bloquée en dy
pression sur la face AE f_p
effet de fond sur les sections f_p

Avec f_p : 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

33.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8832

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

33.3 Fonctionnalités testées

Commandes

AFFE_CHAR_MECA	DDL_IMPO FACE_IMPO	GROUP_NO GROUP_MA	DNOR
AFFE_CHAR_MECA_F	PRES_REP EFFE_FOND	GROUP_MA	
AFFE_MODELE	'MECANIQUE'	'3D'	TOUT
DEFI_MATERIAU	ELAS		
CALC_NO	'EPSI_NOEU_DEPL'		
	'SIGM_NOEU_DEPL'		

33.4 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.

34 Résultats de la modélisation P

34.1 Valeurs testées

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	20.	40.0351	0.09
σ_{yy} -nœud (F) à t=2. S	20.	40.0351	0.09
σ_{zz} -nœud (F) à t=2. S	0.	40.0144	0.04
σ_{xy} -nœud (F) à t=2. S	-20.	40.0054	0.01

35 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.