SSNV112 - Cylindre creux en incompressible (grandes déformations)

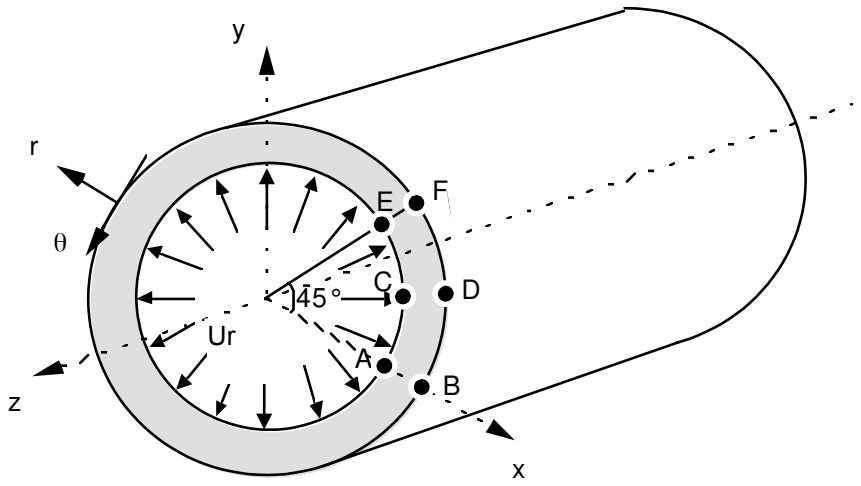
Résumé :

Ce test permet de valider les éléments quasi-incompressibles en grandes déformations, en statique pour un problème tridimensionnel, axisymétrique ou bidimensionnel (déformations planes). On considère un cylindre creux soumis à un déplacement radial interne. Le matériau a un coefficient de Poisson égal à 0.4999 et on utilise les éléments quasi-incompressibles INCO_UPG avec les déformations de SIMO_MIEHE et GDEF_LOG et les éléments INCO_UP avec les déformations GDEF_LOG.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



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

Coordonnées des points :

	A	B	E	F	C	D
x	0.1	0.2	$0.1\times\cos(45)$	$0.2\times\cos(45)$	$0.1\times\cos(22.5)$	$0.2\times\cos(22.5)$
y	0	0	$0.1\times\sin(45)$	$0.1\times\sin(45)$	$0.1\times\sin(22.5)$	$0.1\times\sin(22.5)$
z	0	0	0	0	0	0

1.2 Propriétés du matériau

$E=2.10^5\ MPa$
$\nu=0.4999$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Déplacement radial $U_0=6.10^{-5}m$ (expansion)

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

Pour le problème étudié, le déplacement $\boldsymbol{u}$ est radial et donc de la forme $\boldsymbol{u}=[u,0,0]$.

On en déduit la forme générale du tenseur des déformations en grandes déformations :

$$\boldsymbol{b}=\boldsymbol{F}\,\boldsymbol{F}^{T}=\begin{bmatrix}(1+u')^2 & 0 & 0\\ 0 & \left(1+\frac{u}{r}\right)^2 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}$$

ainsi que l'expression du tenseur des contraintes, qui s'écrit simplement si on prend en compte le fait que $J=\det \boldsymbol{F}=1$ pour un problème incompressible :

$\boldsymbol{\sigma}=-p\,\boldsymbol{I_d}+\mu\,\boldsymbol{b}^{d}$, soit :

$$\begin{cases}\sigma_{rr}=-p+\mu\left(\frac{2}{3}(1+u')^2-\frac{1}{3}\left(1+\frac{u}{r}\right)^2-\frac{1}{3}\right)\\ \sigma_{\theta}\theta=-p+\mu\left(-\frac{1}{3}(1+u')^2+\frac{2}{3}\left(1+\frac{u}{r}\right)^2-\frac{1}{3}\right)\\ \sigma_{zz}=-p+\mu\left(-\frac{1}{3}(1+u')^2-\frac{1}{3}\left(1+\frac{u}{r}\right)^2+\frac{2}{3}\right)\\ \sigma_{r\theta}=\sigma_{rz}=\sigma_{\theta z}=0\end{cases}$$

L'écriture des équations d'équilibre conduit à la vérification d'une seule équation :

$$\sigma'_{rr}+\frac{\sigma_{rr}-\sigma_{\theta\theta}}{r}=0$$

qui permet de déterminer la pression p connaissant le champ de déplacement radial u :

$$p'=\mu\left(\frac{4}{3}(1+u')u''-\frac{2}{3}\left(1+\frac{u}{r}\right)\left(\frac{u'}{r}-\frac{u}{r^2}\right)+\frac{(1+u')^2}{r}-\frac{\left(1+\frac{u}{r}\right)^2}{r}\right)$$

2.2 Particularisation de la solution

La condition d'incompressibilité s'écrit $\det F=1$ avec $\boldsymbol{F}=\begin{bmatrix}1+u' & 0 & 0\\ 0 & 1+\frac{u}{r} & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}$. Le déplacement u vérifie donc l'équation différentielle suivante :

$$ru'+u+u'u=0 \qquad \text{éq 2.2-1}$$

Le chargement imposé est le suivant $u=U_0$ en $r=a$.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

La solution en déplacement est donc :

$$\begin{cases} u_r = -r + r\sqrt{r^2 + U_0(U_0+2a)} \\ u_\theta = u_z = 0 \end{cases}$$

Le tenseur des déformations a donc pour expression :

$$\begin{cases} b_{rr} = \dfrac{r^2}{r^2 + U_0(U_0+2a)} \\ b_{\theta\theta} = \dfrac{r^2 + U_0(U_0+2a)}{r^2} \\ b_{zz} = 1 \\ b_{r\theta} = b_{z\theta} = b_{\theta z} = 0 \end{cases}$$

Et les contraintes valent :

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = -p + \mu\left(\dfrac{2}{3}\dfrac{r^2}{r^2 + U_0(U_0+2a)} - \dfrac{1}{3}\dfrac{r^2 + U_0(U_0+2a)}{r^2} - \dfrac{1}{3}\right) \\ \sigma_\theta\theta = -p + \mu\left(-\dfrac{1}{3}\dfrac{r^2}{r^2 + U_0(U_0+2a)} + \dfrac{2}{3}\dfrac{r^2 + U_0(U_0+2a)}{r^2} - \dfrac{1}{3}\right) \\ \sigma_{zz} = -p + \mu\left(-\dfrac{1}{3}\dfrac{r^2}{r^2 + U_0(U_0+2a)} - \dfrac{1}{3}\dfrac{r^2 + U_0(U_0+2a)}{r^2} + \dfrac{2}{3}\right) \\ \sigma_{r\theta} = \sigma_{z\theta} = \sigma_{\theta z} = 0 \end{cases}$$

avec p obtenu par intégration de [éq 2.2-1] qui vaut :

$$p = \mu\left(\frac{U_0(U_0+2a)}{6r^2} - \frac{2U_0(U_0+2a)}{3\left(U_0(U_0+2a)+r^2\right)} - \log(r) + \frac{1}{2}\log\left(U_0(U_0+2a)+r^2\right)\right) + C$$

où C est une constante

On obtient finalement les valeurs numériques suivantes :

en $r=0.1$:	en $r=0.2$:
$u_r = 6.10^{-5}$	$u_r = 3.006710^{-5}$
$\sigma_{rr} = -59.9955$	$\sigma_{rr} = 0.$
$\sigma_{\theta\theta} = 99.9566$	$\sigma_{\theta\theta} = 40.006$
$\sigma_{zz} = 19.9326$	$\sigma_{zz} = 20.$
$E_{rr} = 0,0005994604316761909$	
$E_{\theta\theta} = -0.0006001799999999502$	

Le passage dans le système cartésien se fait à l'aide des relations suivantes :

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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

2.3 Grandeurs et résultats de référence

On compare aux valeurs de référence :

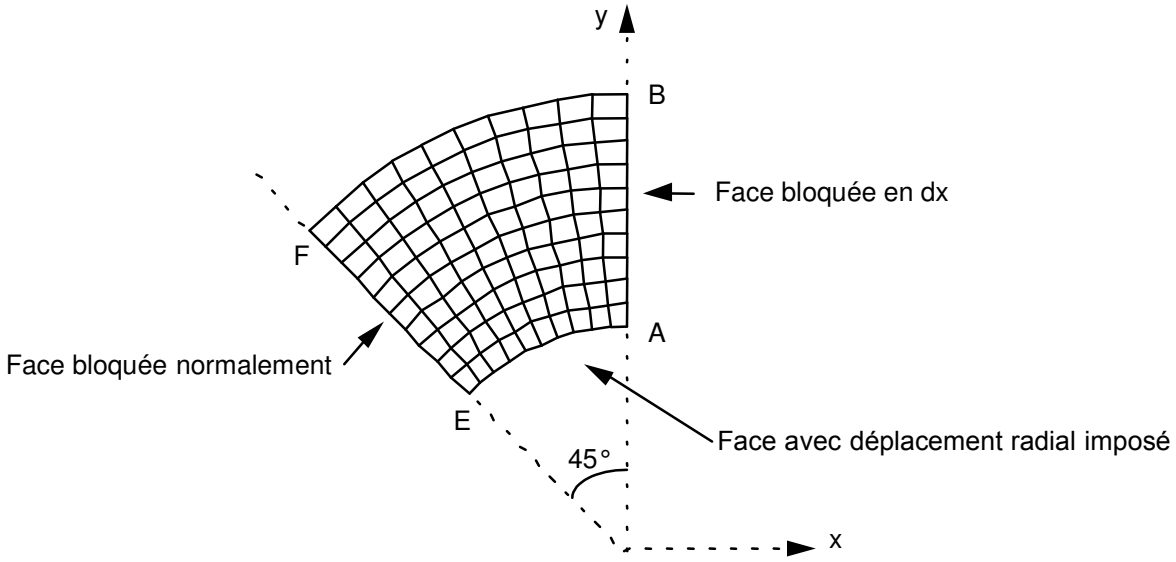
- les déplacements (u, v) aux points A et F,
- les contraintes $(\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy})$ aux points A et F,
- les contraintes de Von Mises et Tresca ainsi que les valeurs propres du tenseur des contraintes au point A.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments 3D_INCO_UPG (DEFORMATION='SIMO_MIEHE') incompressibles de type HEXA20 uniquement



Suivant l'axe z :

- épaisseur totale $e=0.01$
- 2 couches d'éléments

Conditions limites :

```
DDL_IMPO   =  GROUP_NO ='FACSUP'  DZ   = 0.
              GROUP_NO ='FACINF'  DZ   = 0.          faces AEFD ( z=0 et z=0.01 )
               GROUP_NO ='FACEAB' DX   = 0.          face AB
FACE_IMPO  =  GROUP_MA ='FACEEF'  DNOR = 0.          face EF
              GROUP_MA ='FACEAE'  DNOR = -6.10 -5     face AE
```

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1501 nœuds
Nombre de mailles : 240 HEXA20

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	v	ANALYTIQUE	6. 10-5	1. 10^{-3}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	99.9566	0.01
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	-59.9955	0.02
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	19.9326	0.035
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	0.012
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	0.02
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	0.02
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	0.02
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	0.035
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	0.01
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	0.02

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	-2.1217 10^{-5}	1. 10^{-3}
	v	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	1. 10^{-3}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	20.003	0.005
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.003	0.005
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	20.003	0.005
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	20.003	0.005

Pour les déformations de Green-Lagrange :

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	E_{xx}	ANALYTIQUE	0.000599576100401	2.E-4
	E_{yy}	ANALYTIQUE	-0.00059885996551	2.2E-3

3.4 Remarques

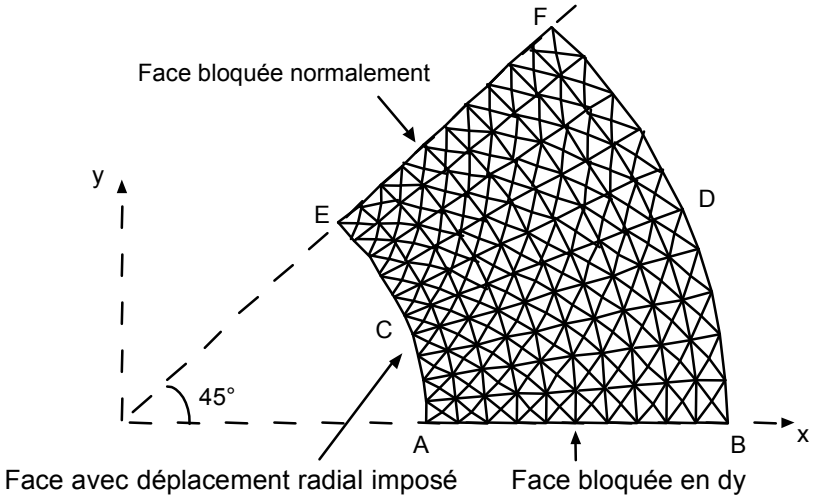
On obtient de très bons résultats puisque pour toutes les grandeurs examinées, la différence entre la solution obtenue avec le code et la solution analytique est inférieure à 0.1% pour les déplacements , inférieurs à $3.5\ \%$ pour les contraintes et inférieure à 0.03% pour les déformations.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments 3D_INCO_UPG (DEFORMATION='SIMO_MIEHE') incompressibles de type TETRA10 uniquement



AB est sur l'axe OX (contrairement à la modélisation A).
Le maillage a été obtenu avec GMSH pour une densité de $0{,}01$.

Conditions limites :

```
DDL_IMPO   =  GROUP_NO ='FACSUP'  DZ   = 0.
              GROUP_NO ='FACINF'  DZ   = 0.          faces AEFD ( z=0 et
z=0.01 )
               GROUP_NO ='FACEAB' DY   = 0.          face AB
FACE_IMPO  =  GROUP_MA ='FACEEF'  DNOR = 0.          face EF
              GROUP_MA ='FACEAE'  DNOR = -6.10 -5    face AE
```

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 2064
Nombre de mailles : 1121 TETRA10

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	6. 10^{-5}	2. 10^{-3}
	v	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	-59.9955	0.025
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	99.9566	0.02
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	19.9326	0.03
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	0.03
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	0.01
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	0.01
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	0.025
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	0.03
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	0.015
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	0.01

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	1. 10^{-3}
	v	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	1. 10^{-3}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	20.003	0.005
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.003	0.005
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	20.003	0.005
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	-20.003	0.01

4.4 Remarques

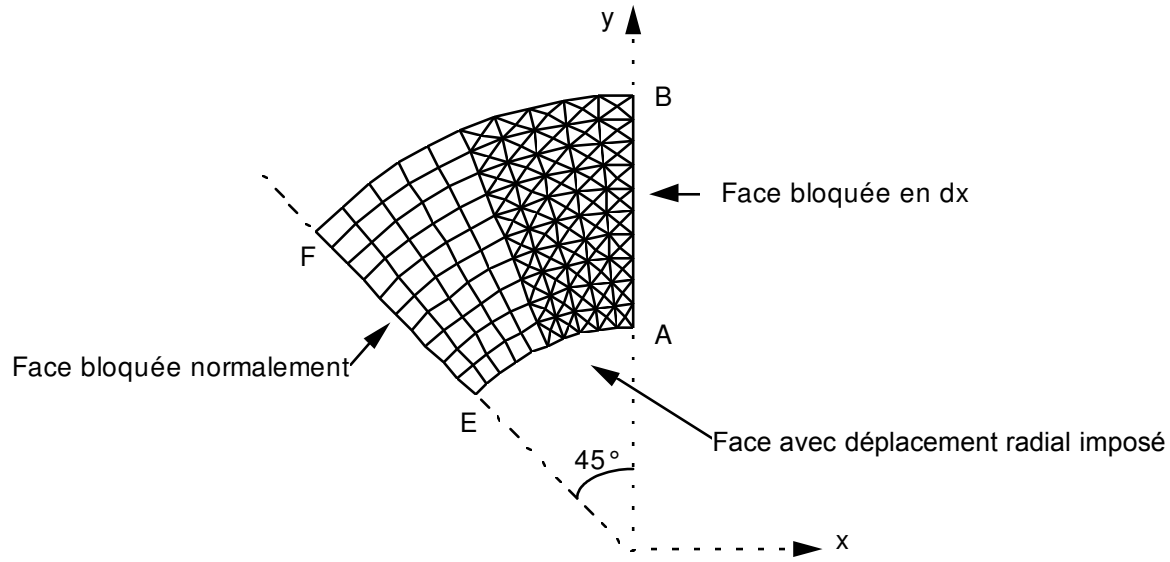
Les résultats obtenus sont tout à fait corrects puisque les contraintes sont obtenues avec une précision inférieure à $3\,\%$ voire $1\,\%$ au point F. L'écart est ici un peu plus important que pour les HEXA20, mais peut s'expliquer par le fait que le chargement est imposé ici de manière un peu moins précise puisque le déplacement u au point A, n'est défini qu'à une précision de 0.158% contre 0.077% (soir le facteur 2, qu'on retrouve sur les contraintes).

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments D_PLAN_INCO_UPG (DEFORMATION='SIMO_MIEHE') incompressibles de type TRIA6 et QUAD8



Conditions limites :

DDL_IMPO =	GROUP_NO ='GRNM11'	DX = 0.	côté AB
FACE_IMPO =	GROUP_MA ='GRMA12'	DNOR = 0.	coté EF
=	GROUP_MA ='GRMA13'	DNOR = -6. 10^{-5}	face AE

Nom des nœuds :

$A=N2$, $B=N361$, $C=N121$, $D=N584$, $E=N155$, $F=N503$

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 591
Nombre de mailles : 200 TRIA6, 50 QUAD8.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	v	ANALYTIQUE	6. 10-5	5. 10^{-3}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	99.9566	5. 10^{-3}
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	-59.9955	0.03
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	19.9326	0.03
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	0.03
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	0.02
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	0.02
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	0.03
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	0.03
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	0.02
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	0.02

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	-2.1217 10^{-5}	5. 10^{-3}
	v	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	5. 10^{-3}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	20.003	5. 10^{-3}
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.003	5. 10^{-3}
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	20.003	5. 10^{-3}
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	20.003	5. 10^{-3}

Pour les déformations de Green-Lagrange :

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	E_{xx}	ANALYTIQUE	0.000601357472911	4 %
	E_{yy}	ANALYTIQUE	-0.000604235469839	0,7 %

5.4 Remarques

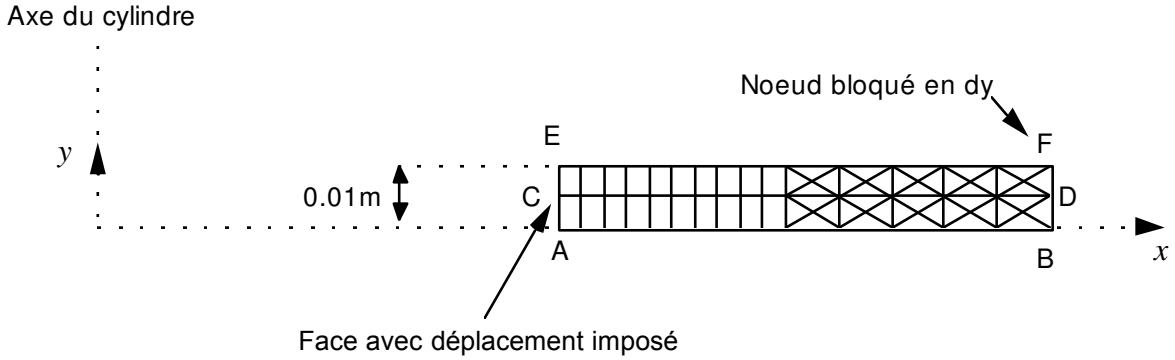
Comme pour la modélisation 3D, les résultats obtenus sont tout à fait satisfaisants.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments AXIS_INCO_UPG (DEFORMATION='SIMO_MIEHE') incompressibles de type TRIA6 et QUAD8



Conditions limites :

DDL_IMPO =	GROUP_NO ='FACSUP'	DY = 0.	côté EF
	GROUP_NO ='FACINF'	DY = 0.	côté AB
FACE_IMPO =	GROUP_MA ='FACEAE'	DX = 6. 10^{-5}	face AE

6.2 Caractéristiques du maillage

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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	6. 10^{-5}	1. 10^{-3}
	v	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	-59.9955	5. 10^{-3}
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	19.9326	5. 10^{-3}
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	99.9566	5. 10^{-3}
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	5. 10^{-3}
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	5. 10^{-3}
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	5. 10^{-3}
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	5. 10^{-3}
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	5. 10^{-3}
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	5. 10^{-3}

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	3. 10^{-5}	1. 10^{-3}
	v	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	0.	0.03
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.0	5. 10^{-3}
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	40.006	5. 10^{-3}
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	5. 10^{-3}

Pour les déformations de Green-Lagrange :

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	E_{xx}	ANALYTIQUE	-0.000598704996172	2E-3

6.4 Remarques

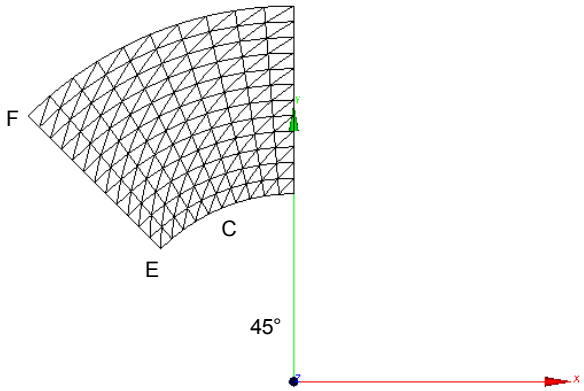
La précision obtenue est très bonne puisque toutes les contraintes sont obtenues avec une précision inférieure à 0.5%.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments 3D_INCO_UPG (DEFORMATION='SIMO_MIEHE') incompressibles de type PENTA15 uniquement



Conditions limites :

```
DDL_IMPO   =  GROUP_NO ='FACSUP'  DZ    = 0.
              GROUP_NO ='FACINF'  DZ    = 0.
               GROUP_NO ='FACEAB' DX    = 0.
FACE_IMPO  =  GROUP_MA ='FACEEF'  DNOR  = 0.
              GROUP_MA ='FACEAE'  DNOR  = -6.10 -5
```

faces $AEFD$ ($z=0$ et $z=0.01$)

face AB

face EF

face AE

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1861
Nombre de mailles : 480 PENTA15

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

7.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	v	ANALYTIQUE	6. 10-5	1. 10^{-3}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	99.9566	0.03
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	-59.9955	0.09
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	19.9326	0.08
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	0.005
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	0.05
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	0.05
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	0.09
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	0.08
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	0.03
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	0.05

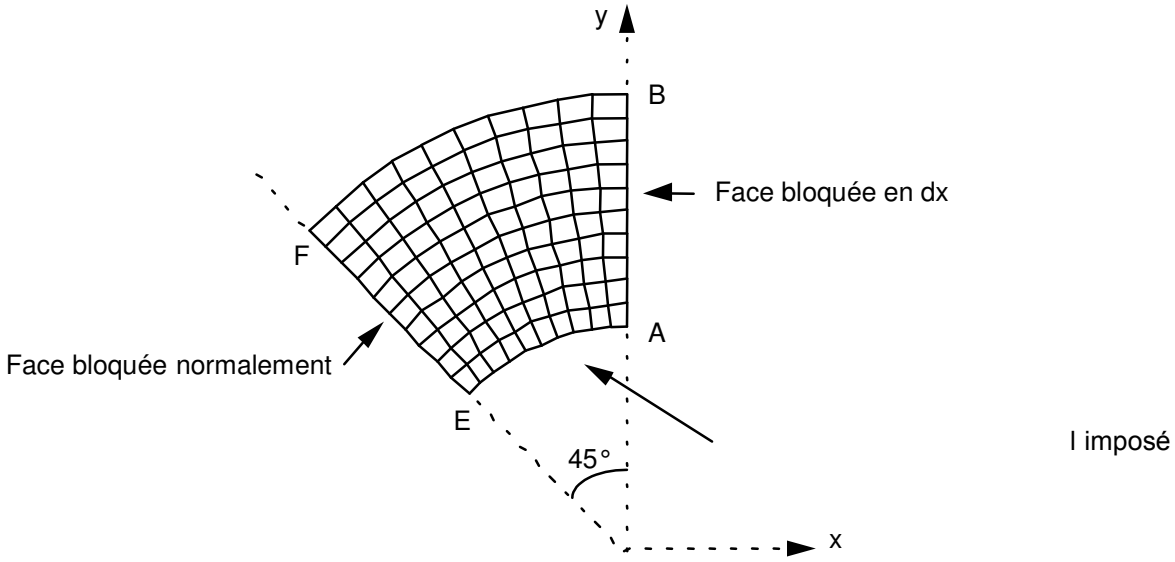
Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	-2.1217 10^{-5}	3. 10^{-3}
	v	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	3. 10^{-3}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	20.003	0.04
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.003	0.17
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	20.003	0.07
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	20.003	0.008

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

8 Modélisation F

8.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments 3D_INCO_UPG (DEFORMATION='GDEF_LOG') incompressibles de type HEXA20 uniquement



Suivant l'axe z :

- épaisseur totale $e=0.01$
- 2 couches d'éléments

Conditions limites :

```
DDL_IMPO   =  GROUP_NO ='FACSUP'  DZ    = 0.
              GROUP_NO ='FACINF'  DZ    = 0.
 GROUP_NO ='FACEAB' DX    = 0.
FACE_IMPO =  GROUP_MA ='FACEEF'  DNOR = 0.
              GROUP_MA ='FACEAE'  DNOR = -6.10 -5
```

faces $AEFD$ ($z=0$ et $z=0.01$)

face AB

face EF

face AE

8.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1501 nœuds
Nombre de mailles : 240 HEXA20

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

8.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-3}
	v	ANALYTIQUE	6. 10-5	1. 10^{-3}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	99.9566	0.01
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	-59.9955	0.03
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	19.9326	0.05
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	0.03
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	0.001
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	0.001
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	0.0025
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	0.005
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	0.0005
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	0.001

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	-2.1217 10^{-5}	0.005
	v	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	0.005
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	20.003	0.002
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.003	0.002
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	20.003	0.0025
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	20.003	0.0015

8.4 Remarques

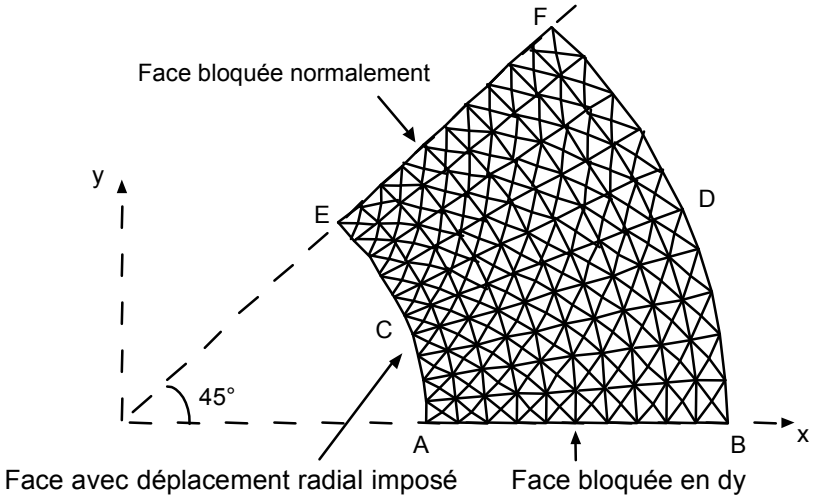
On obtient de très bons résultats puisque pour toutes les grandeurs examinées, la différence entre la solution obtenue avec le code et la solution analytique est inférieure à 0.5% pour les déplacements et inférieurs à $5\ \%$ pour les contraintes.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

9 Modélisation G

9.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments 3D_INCO_UPG (DEFORMATION='GDEF_LOG') incompressibles de type TETRA10 uniquement



AB est sur l'axe OX (contrairement à la modélisation A).
Le maillage a été obtenu avec GMSH pour une densité de $0{,}01$.

Conditions limites :

```
DDL_IMPO   =  GROUP_NO ='FACSUP'  DZ   = 0.
              GROUP_NO ='FACINF'  DZ   = 0.
               GROUP_NO ='FACEAB' DY   = 0.
FACE_IMPO  =  GROUP_MA ='FACEEF'  DNOR = 0.
              GROUP_MA ='FACEAE'  DNOR = -6.10 -5
```

faces $AEFD$ ($z=0$ et $z=0.01$)
face AB
face EF
face AE

9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 2064
Nombre de mailles : 1121 TETRA10

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

9.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	6. 10^{-5}	2. 10^{-3}
	v	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-3}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	-59.9955	0.02
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	99.9566	0.02
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	19.9326	0.03
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	0.03
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	0.002
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	0.002
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	0.02
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	0.03
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	0.015
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	0.002

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	1. 10^{-4}
	v	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	1. 10^{-4}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	20.003	0.003
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.003	0.005
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	20.003	0.002
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	-20.003	0.01

9.4 Remarques

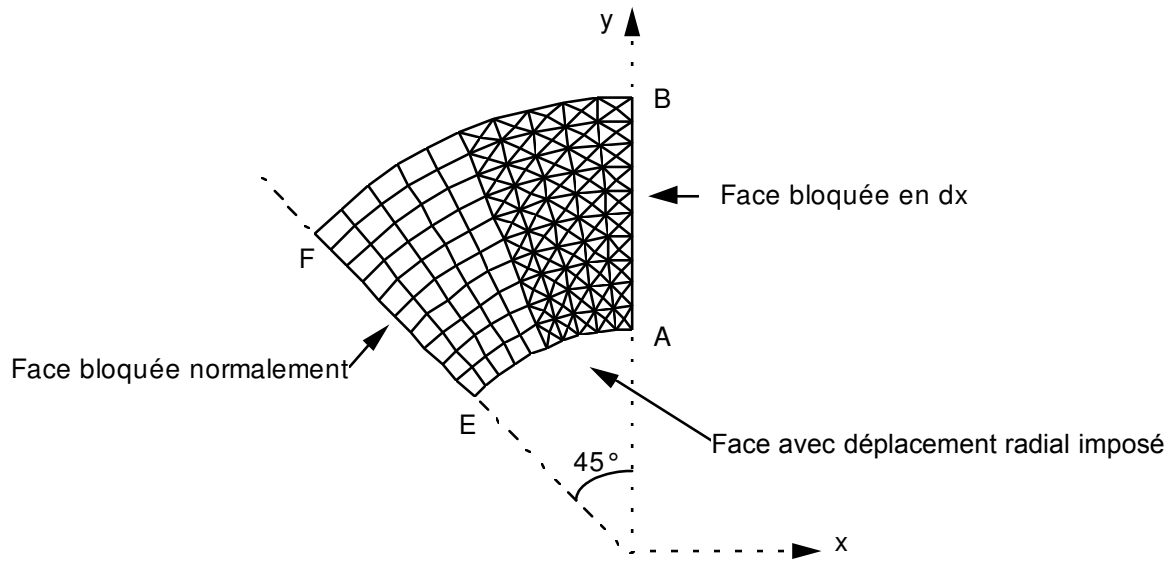
Les résultats obtenus sont tout à fait corrects puisque les contraintes sont obtenues avec une précision inférieure à $3\,\%$ voire $1\,\%$ au point F. L'écart est ici un peu plus important que pour les HEXA20, mais peut s'expliquer par le fait que le chargement est imposé ici de manière un peu moins précise puisque le déplacement u au point A, n'est défini qu'à une précision de 0.158% contre 0.077% (soir le facteur 2, qu'on retrouve sur les contraintes).

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

10 Modélisation H

10.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments D_PLAN_INCO_UPG (DEFORMATION='GDEF_LOG') incompressibles de type TRIA6 et QUAD8



Conditions limites :

DDL_IMPO =	GROUP_NO ='GRNM11'	DX = 0.	côté	AB
FACE_IMPO =	GROUP_MA ='GRMA12'	DNOR = 0.	coté	EF
=	GROUP_MA ='GRMA13'	DNOR = -6. 10^{-5}	face	AE

Nom des nœuds :

$A=N2$, $B=N361$, $C=N121$, $D=N584$, $E=N155$, $F=N503$

10.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 591
Nombre de mailles : 200 TRIA6, 50 QUAD8.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

10.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	v	ANALYTIQUE	6. 10-5	1. 10^{-4}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	99.9566	5. 10^{-3}
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	-59.9955	0.02
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	19.9326	0.02
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	0.02
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	0.006
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	0.006
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	0.02
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	0.02
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	0.003
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	0.006

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	-2.1217 10^{-5}	3. 10^{-4}
	v	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	3. 10^{-4}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	20.003	5. 10^{-3}
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.003	2.5 10^{-3}
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	20.003	5. 10^{-4}
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	20.003	2. 10^{-3}

10.4 Remarques

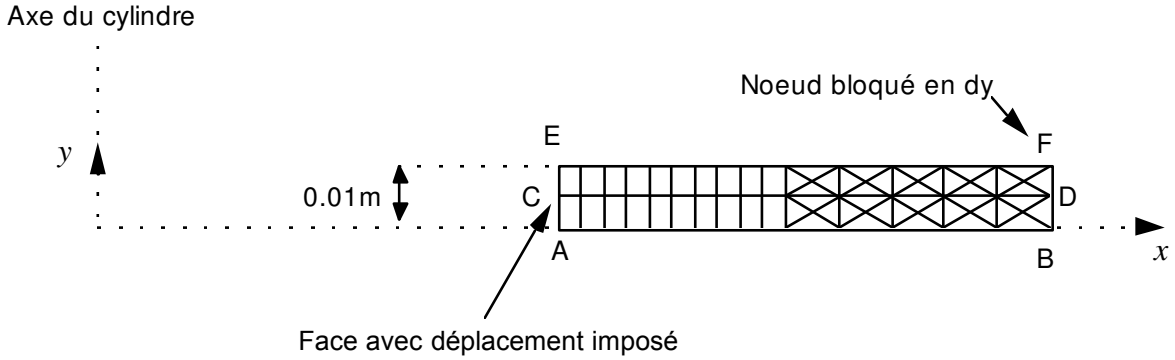
Comme pour la modélisation 3D, les résultats obtenus sont tout à fait satisfaisants.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

11 Modélisation I

11.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments AXIS_INCO_UPG (DEFORMATION='GDEF_LOG') incompressibles de type TRIA6 et QUAD8



Conditions limites :

DDL_IMPO =	GROUP_NO ='FACSUP'	DY = 0.	côté EF
	GROUP_NO ='FACINF'	DY = 0.	côté AB
FACE_IMPO =	GROUP_MA ='FACEAE'	DX = 6. 10^{-5}	face AE

11.2 Caractéristiques du maillage

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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

11.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	6. 10^{-5}	1. 10^{-3}
	v	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	-59.9955	5. 10^{-3}
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	19.9326	5. 10^{-3}
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	99.9566	5. 10^{-3}
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	2. 10^{-3}
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	2. 10^{-3}
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	3. 10^{-3}
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	5. 10^{-3}
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	5. 10^{-4}
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	2. 10^{-3}

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	3. 10^{-5}	5. 10^{-4}
	v	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	0.	0.03
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.0	3. 10^{-3}
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	40.006	3. 10^{-3}
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	5. 10^{-3}

11.4 Remarques

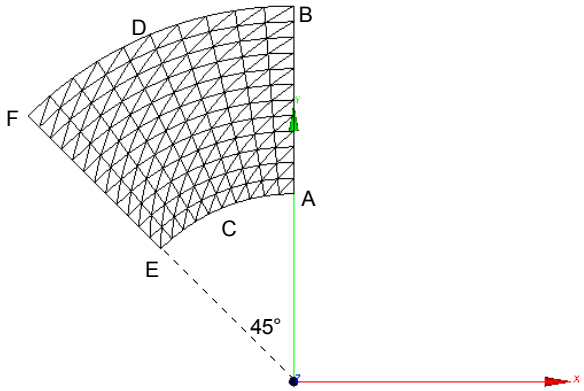
La précision obtenue est très bonne puisque toutes les contraintes sont obtenues avec une précision inférieure à 0.5%.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

12 Modélisation J

12.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments 3D_INCO_UPG (DEFORMATION='GDEF_LOG') incompressibles de type PENTA15 uniquement



Conditions limites :

```
DDL_IMPO   =   GROUP_NO =’FACSUP’   DZ    = 0.
               GROUP_NO =’FACINF’   DZ    = 0.
                GROUP_NO =’FACEAB’ DX    = 0.
FACE_IMPO =    GROUP_MA =’FACEEF’   DNOR = 0.
               GROUP_MA =’FACEAE’   DNOR = -6.10 -5
```

faces $AEFD$ ($z=0$ et $z=0.01$)

face AB

face EF

face AE

12.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1861
Nombre de mailles : 480 PENTA15

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

12.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	v	ANALYTIQUE	6. 10-5	1. 10^{-3}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	99.9566	0.0002
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	-59.9955	0.003
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	19.9326	0.007
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	0.0008
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	0.05
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	0.05
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	0.09
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	0.08
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	0.03
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	0.05

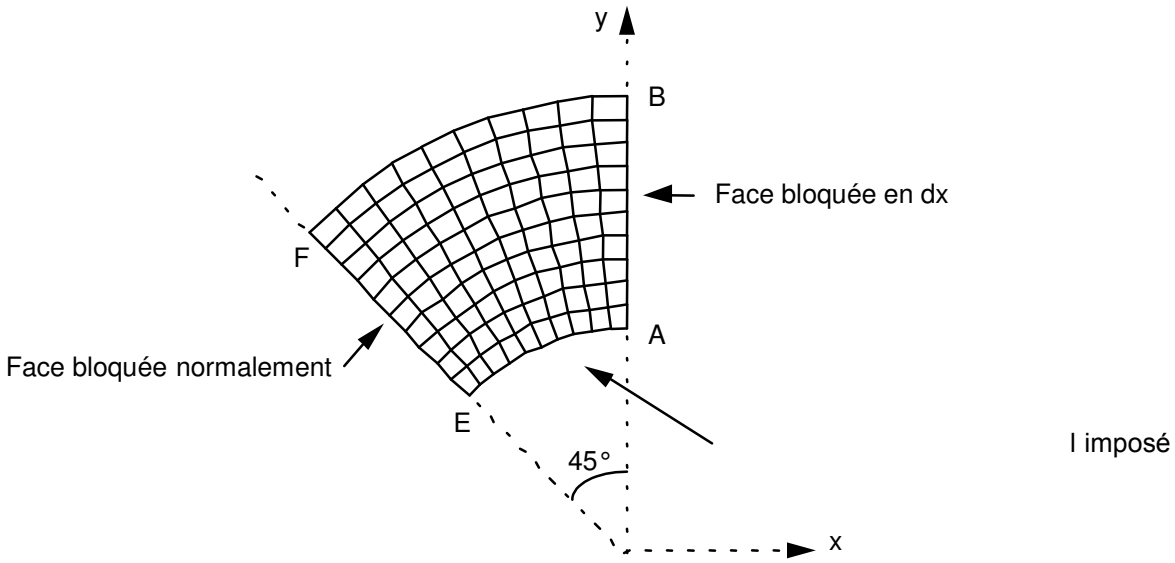
Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	-2.1217 10^{-5}	4. 10^{-3}
	v	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	4. 10^{-3}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	20.003	0.007
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.003	0.0006
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	20.003	3. 10^{-5}
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	20.003	0.0004

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

13 Modélisation K

13.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments 3D_INCO_UP (DEFORMATION='GDEF_LOG') incompressibles de type HEXA20 uniquement



Suivant l'axe z :

- épaisseur totale $e=0.01$
- 2 couches d'éléments

Conditions limites :

```
DDL_IMPO   =  GROUP_NO =’FACSUP’  DZ   = 0.
              GROUP_NO =’FACINF’  DZ   = 0.
               GROUP_NO =’FACEAB’ DX   = 0.
FACE_IMPO  =  GROUP_MA =’FACEEF’  DNOR = 0.
              GROUP_MA =’FACEAE’  DNOR = -6.10 -5
```

faces $AEFD$ ($z=0$ et $z=0.01$)

face AB

face EF

face AE

13.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1501 nœuds
Nombre de mailles : 240 HEXA20

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

13.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-3}
	v	ANALYTIQUE	6. 10-5	1. 10^{-4}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	99.9566	0.01
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	-59.9955	0.03
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	19.9326	0.05
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	0.03
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	0.001
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	0.001
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	0.0025
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	0.005
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	0.0005
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	0.001

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	-2.1217 10^{-5}	0.005
	v	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	0.005
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	20.003	0.002
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.003	0.002
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	20.003	0.0025
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	20.003	0.0015

Pour les déformations de Green-Lagrange :

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	E_{xx}	ANALYTIQUE	0.000599576100401	2E-4
	E_{yy}	ANALYTIQUE	-0.00059885996551	2.2E-3

13.4 Remarques

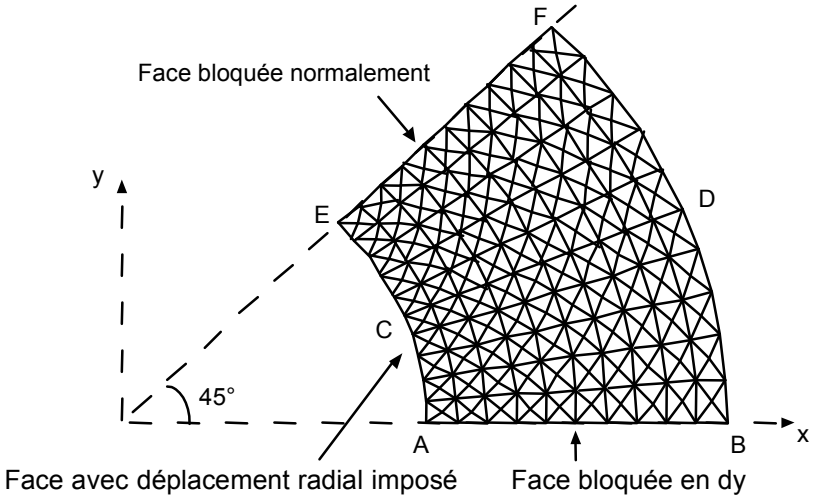
On obtient de très bons résultats puisque pour toutes les grandeurs examinées, la différence entre la solution obtenue avec le code et la solution analytique est inférieure à 0.5% pour les déplacements et inférieurs à $5\ \%$ pour les contraintes.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

14 Modélisation L

14.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments 3D_INCO_UP (DEFORMATION='GDEF_LOG') incompressibles de type TETRA10 uniquement



AB est sur l'axe OX (contrairement à la modélisation A).
Le maillage a été obtenu avec GMSH pour une densité de $0{,}01$.

Conditions limites :

```
DDL_IMPO   =  GROUP_NO ='FACSUP'  DZ   = 0.
              GROUP_NO ='FACINF'  DZ   = 0.          faces AEFD ( z=0 et
z=0.01 )
               GROUP_NO ='FACEAB' DY   = 0.          face AB
FACE_IMPO  =  GROUP_MA ='FACEEF'  DNOR = 0.          face EF
              GROUP_MA ='FACEAE'  DNOR = -6.10 -5     face AE
```

14.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 2064
Nombre de mailles : 1121 TETRA10

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

14.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	6. 10^{-5}	2. 10^{-4}
	v	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-3}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	-59.9955	0.02
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	99.9566	0.02
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	19.9326	0.03
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	0.03
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	0.002
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	0.002
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	0.02
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	0.03
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	0.015
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	0.002

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	1. 10^{-4}
	v	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	1. 10^{-4}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	20.003	0.003
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.003	0.005
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	20.003	0.002
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	-20.003	0.01

14.4 Remarques

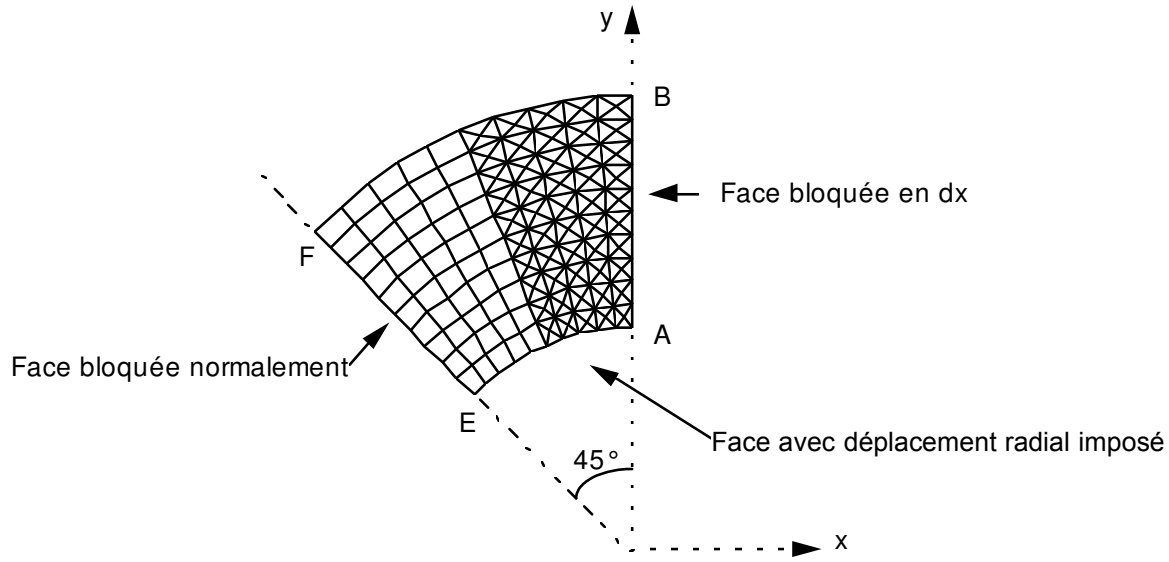
Les résultats obtenus sont tout à fait corrects puisque les contraintes sont obtenues avec une précision inférieure à $3\,\%$ voire $1\,\%$ au point F. L'écart est ici un peu plus important que pour les HEXA20, mais peut s'expliquer par le fait que le chargement est imposé ici de manière un peu moins précise puisque le déplacement u au point A, n'est défini qu'à une précision de 0.158% contre 0.077% (soir le facteur 2, qu'on retrouve sur les contraintes).

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

15 Modélisation M

15.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments D_PLAN_INCO_UP (DEFORMATION='GDEF_LOG') incompressibles de type TRIA6 et QUAD8



Conditions limites :

DDL_IMPO =	GROUP_NO ='GRNM11'	DX = 0.	côté	AB
FACE_IMPO =	GROUP_MA ='GRMA12'	DNOR = 0.	coté	EF
=	GROUP_MA ='GRMA13'	DNOR = -6. 10^{-5}	face	AE

Nom des nœuds :

$A=N2$, $B=N361$, $C=N121$, $D=N584$, $E=N155$, $F=N503$

15.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 591
Nombre de mailles : 200 TRIA6, 50 QUAD8.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

15.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	v	ANALYTIQUE	6. 10-5	1. 10^{-4}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	99.9566	5. 10^{-3}
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	-59.9955	0.02
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	19.9326	0.02
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	0.02
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	0.006
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	0.006
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	0.02
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	0.02
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	0.003
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	0.006

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	-2.1217 10^{-5}	3. 10^{-4}
	v	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	3. 10^{-4}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	20.003	5. 10^{-3}
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.003	2.5 10^{-3}
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	20.003	5. 10^{-4}
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	20.003	2. 10^{-3}

Pour les déformations de Green-Lagrange :

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	E_{xx}	ANALYTIQUE	0.000601356410318	4E-3
	E_{yy}	ANALYTIQUE	-0.000604235469839	7.0E-3

15.4 Remarques

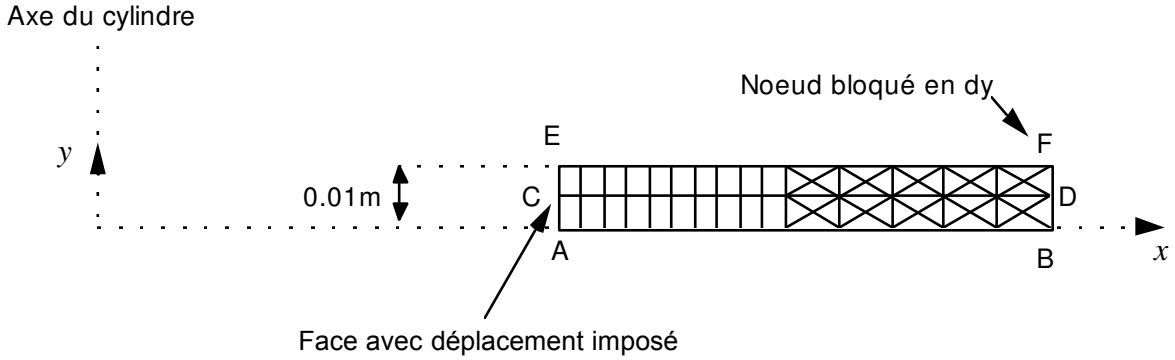
Comme pour la modélisation 3D, les résultats obtenus sont tout à fait satisfaisants.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

16 Modélisation N

16.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments AXIS_INCO_UP (DEFORMATION='GDEF_LOG') incompressibles de type TRIA6 et QUAD8



Conditions limites :

DDL_IMPO =	GROUP_NO ='FACSUP'	DY = 0.	côté EF
	GROUP_NO ='FACINF'	DY = 0.	côté AB
FACE_IMPO =	GROUP_MA ='FACEAE'	DX = 6. 10^{-5}	face AE

16.2 Caractéristiques du maillage

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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

16.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	6. 10^{-5}	1. 10^{-3}
	v	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	-59.9955	5. 10^{-3}
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	19.9326	5. 10^{-3}
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	99.9566	5. 10^{-3}
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	2. 10^{-3}
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	2. 10^{-3}
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	3. 10^{-3}
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	5. 10^{-3}
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	5. 10^{-4}
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	2. 10^{-3}

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	3. 10^{-5}	5. 10^{-4}
	v	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	0.	0.03
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.0	3. 10^{-3}
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	40.006	3. 10^{-3}
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	5. 10^{-3}

Pour les déformations de Green-Lagrange :

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	E_{xx}	ANALYTIQUE	-0.000598704996172	2E-3

16.4 Remarques

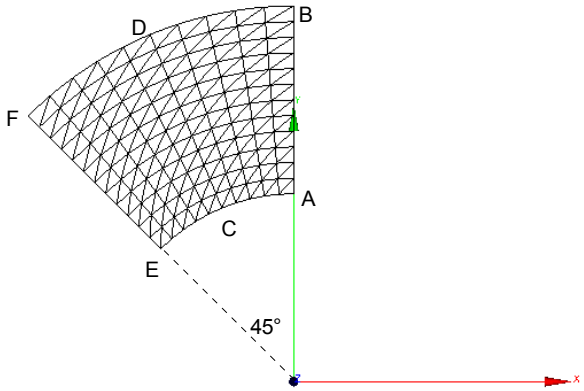
La précision obtenue est très bonne puisque toutes les contraintes sont obtenues avec une précision inférieure à 0.5%.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

17 Modélisation O

17.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments 3D_INCO_UP (DEFORMATION='GDEF_LOG') incompressibles de type PENTA15 uniquement



Conditions limites :

DDL_IMPO = GROUP_NO ='FACSUP' DZ = 0.
GROUP_NO ='FACINF' DZ = 0. faces $AEFD$ ($z=0$ et $z=0.01$)
GROUP_NO ='FACEAB' DX = 0. face AB
FACE_IMPO = GROUP_MA ='FACEEF' DNOR = 0. face EF
GROUP_MA ='FACEAE' DNOR = -6.10 -5 face AE

17.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1861
Nombre de mailles : 480 PENTA15

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

17.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F. Les composantes du champ SIEQ_NOEU sont testées au point A uniquement.

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
A	u	ANALYTIQUE	0.	1. 10^{-5}
	v	ANALYTIQUE	6. 10-5	1. 10^{-3}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	99.9566	0.0002
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	-59.9955	0.003
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	19.9326	0.007
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	0.	0.0008
	VMIS	ANALYTIQUE	138.5226	0.001
	TRESCA	ANALYTIQUE	159.9521	0.001
	PRIN_1	ANALYTIQUE	-59.9955	0.003
	PRIN_2	ANALYTIQUE	19.9326	0.008
	PRIN_3	ANALYTIQUE	99.9566	0.0002
	VMIS_SG	ANALYTIQUE	138.5226	0.001

Identification		Type de référence	Référence	Tolérance
F	u	ANALYTIQUE	-2.1217 10^{-5}	4. 10^{-3}
	v	ANALYTIQUE	2.1217 10^{-5}	4. 10^{-3}
	σ_{xx}	ANALYTIQUE	20.003	0.007
	σ_{yy}	ANALYTIQUE	20.003	0.0006
	σ_{zz}	ANALYTIQUE	20.003	3. 10^{-5}
	σ_{xy}	ANALYTIQUE	20.003	0.0004

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

18 Synthèse des résultats

Avec un coefficient de Poisson ν très proche de 0.5, on retrouve les résultats de la solution analytique incompressible en grandes déformations, avec une précision tout à fait correcte.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)