

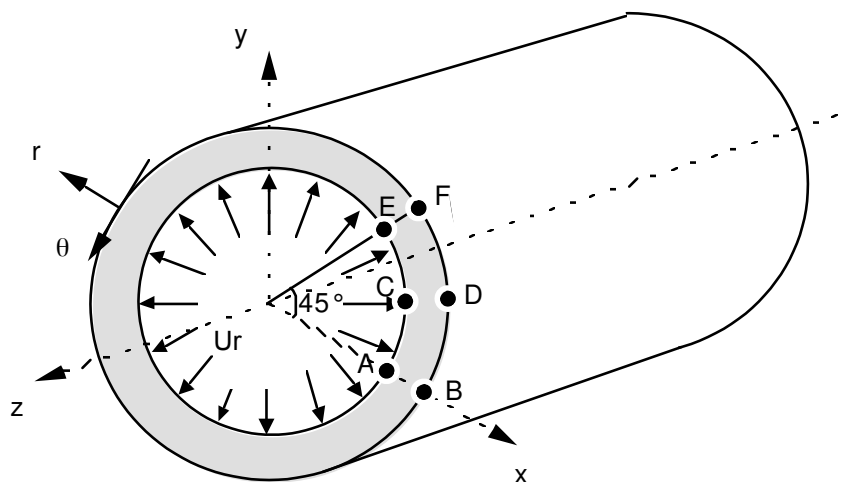
SSNV112 - Cylindre creux en incompressible (grandes déformations)

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/INCO_UPGB` avec les déformations de `SIMO_MIEHE` et `GDEF_LOG` et les éléments `INCO_UP` avec les déformations `GDEF_LOG`.

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 | 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

$$E = 2.10^5 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0.4999$$

1.3 Conditions aux limites et chargements

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

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

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

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

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

$\boldsymbol{\sigma} = -p \mathbf{I}_d + \mu \mathbf{b}^d$, 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 $\det \mathbf{F} = 1$ avec $\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1+u' & 0 & 0 \\ 0 & 1+\frac{u}{r} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$. Le déplacement u

vérifie donc l'équation différentielle suivante :

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

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

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 :

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

Et les contraintes valent :

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

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

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

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 :

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

2.3 Grandeurs et résultats de référence

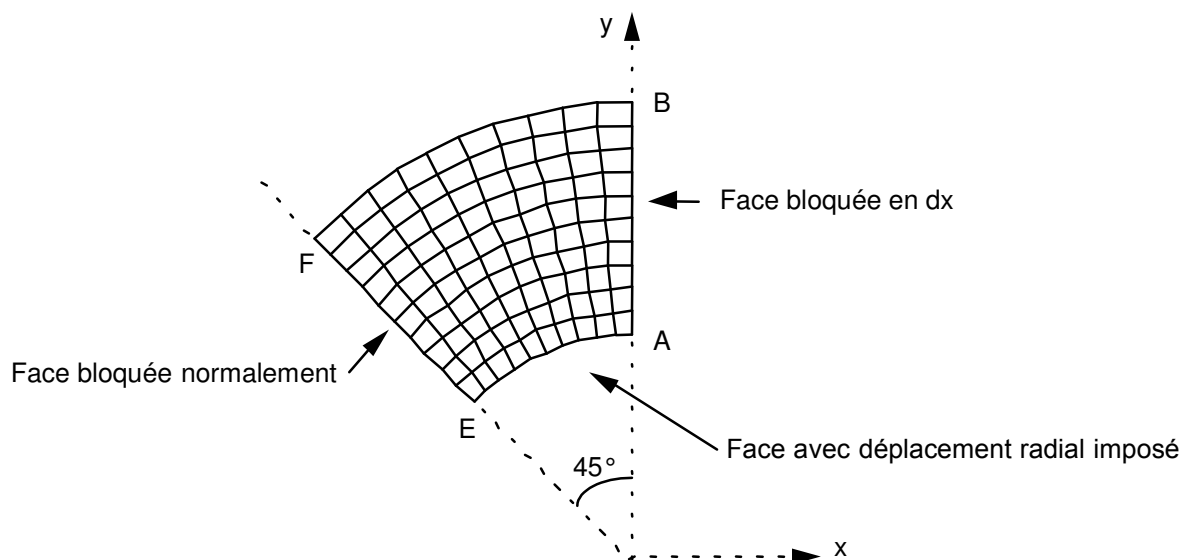
On compare aux valeurs de référence :

- 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 .

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. | faces $AEFD$ ($z=0$ et |
| | GROUP_NO = 'FACINF' | DZ = 0. | |
| $z=0.01$) | | | |
| | 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

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 |

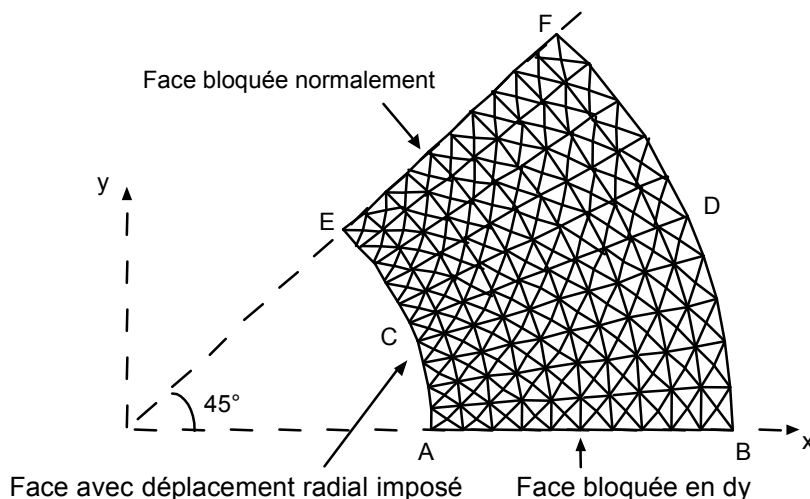
3.4 Remarques

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.

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

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 |

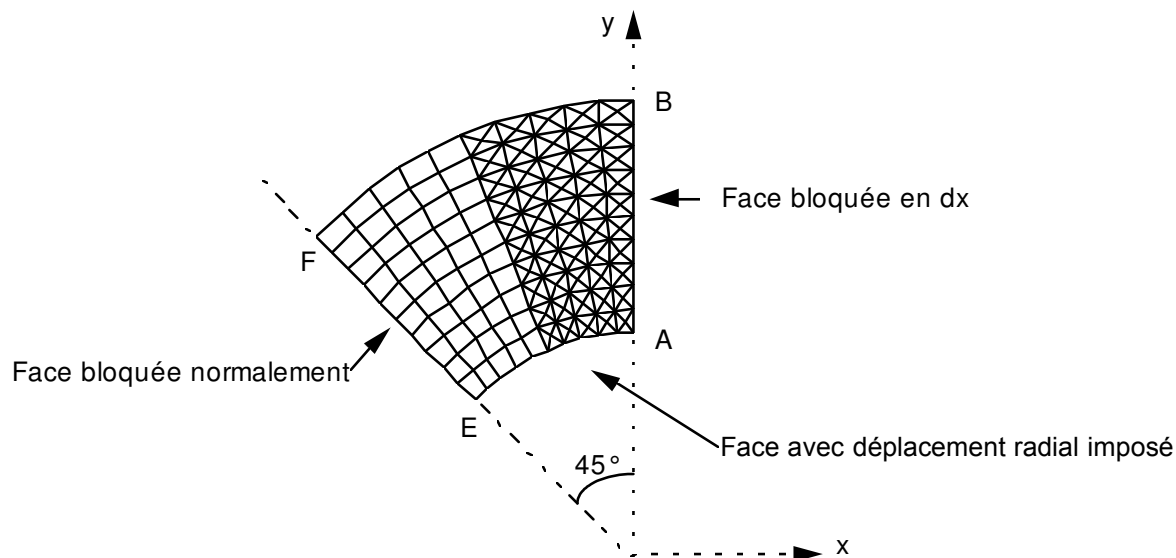
4.4 Remarques

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% (soit le facteur 2, qu'on retrouve sur les contraintes).

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. | côté 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.

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 % |

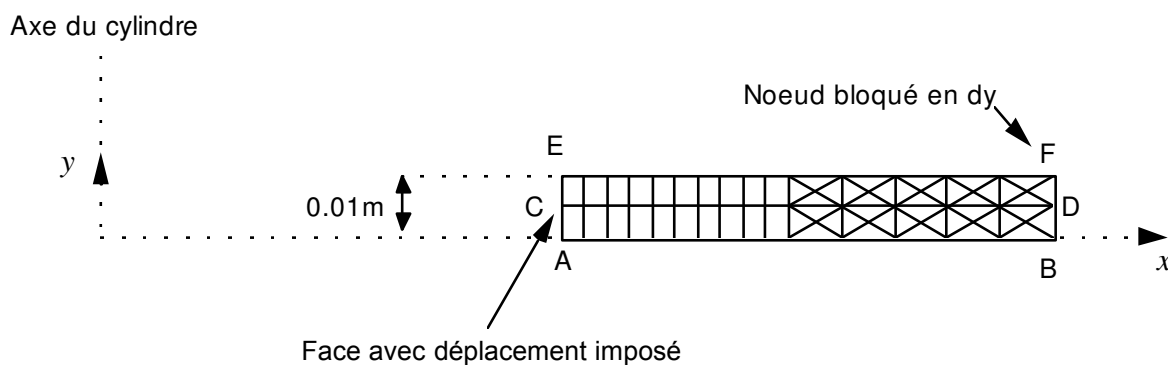
5.4 Remarques

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

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 :

| | | | |
|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| <code>DDL_IMPO =</code> | <code>GROUP_NO = 'FACSUP'</code> | <code>DY = 0.</code> | côté <i>EF</i> |
| | <code>GROUP_NO = 'FACINF'</code> | <code>DY = 0.</code> | côté <i>AB</i> |
| <code>FACE_IMPO =</code> | <code>GROUP_MA = 'FACEAE'</code> | <code>DX = 6. 10⁻⁵</code> | face <i>AE</i> |

6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 175.

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

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 |

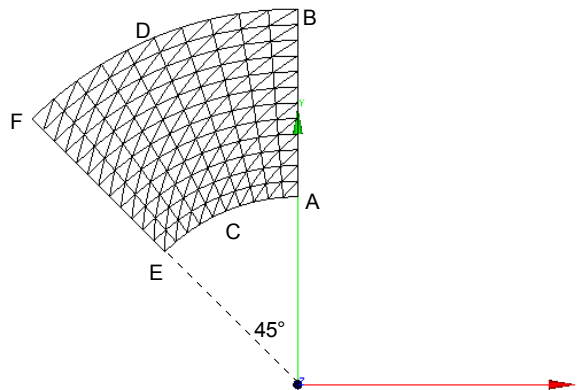
6.4 Remarques

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

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. | faces <i>AEFD</i> ($z=0$ et |
| $z=0.01$) | | | |
| | GROUP_NO = 'FACEAB' | DX = 0. | face <i>AB</i> |
| FACE_IMPO = | GROUP_MA = 'FACEEF' | DNOR = 0. | face <i>EF</i> |
| | GROUP_MA = 'FACEAE' | DNOR = -6.10^{-5} | face <i>AE</i> |

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1861
Nombre de mailles : 480 PENTA15

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.

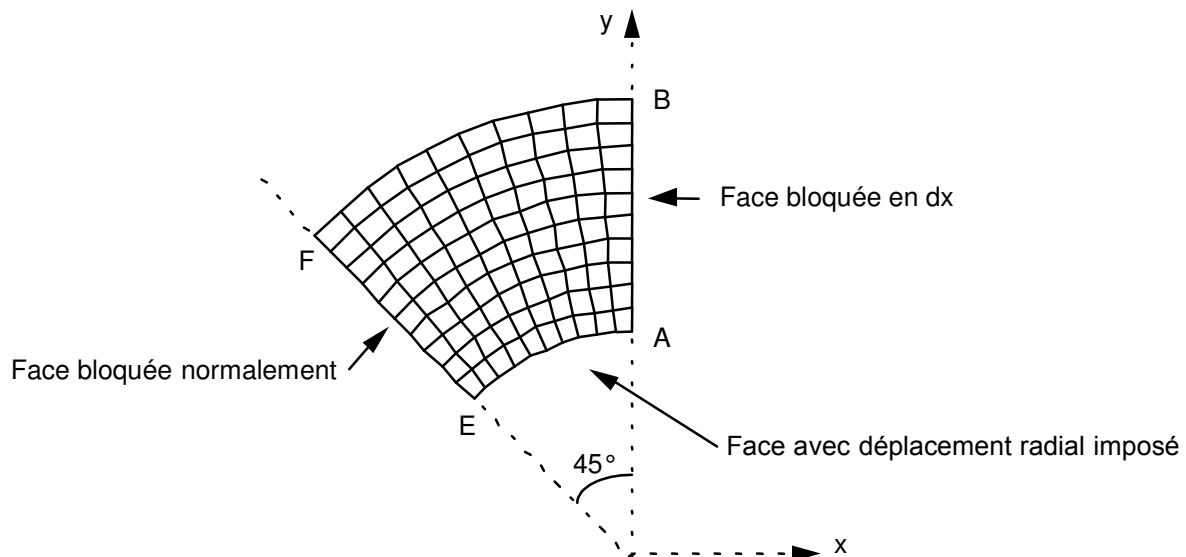
| Identification | | Type de référence | Référence | Tolérance |
|----------------|---------------|-------------------|--------------|--------------|
| A | u | ANALYTIQUE | 0. | $1. 10^{-5}$ |
| | v | ANALYTIQUE | $6. 10^{-5}$ | $1. 10^{-3}$ |
| | σ_{xx} | ANALYTIQUE | 99.9566 | 0.03 |
| | σ_{yy} | ANALYTIQUE | -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 |

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. | faces $AEFD$ ($z=0$ et |
| | GROUP_NO = 'FACINF' | DZ = 0. | |
| $z=0.01$) | | | |
| | 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 |

8.2 Caractéristiques du maillage

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

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 |

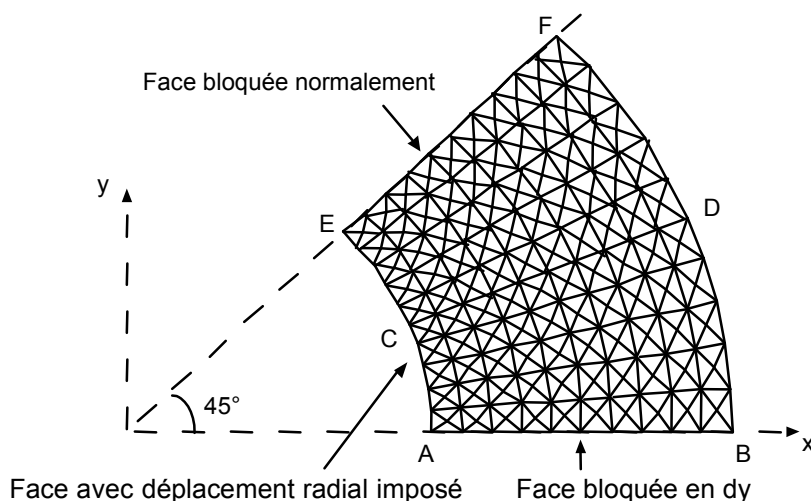
8.4 Remarques

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.

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. | 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 |

9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 2064

Nombre de mailles : 1121 TETRA10

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 |

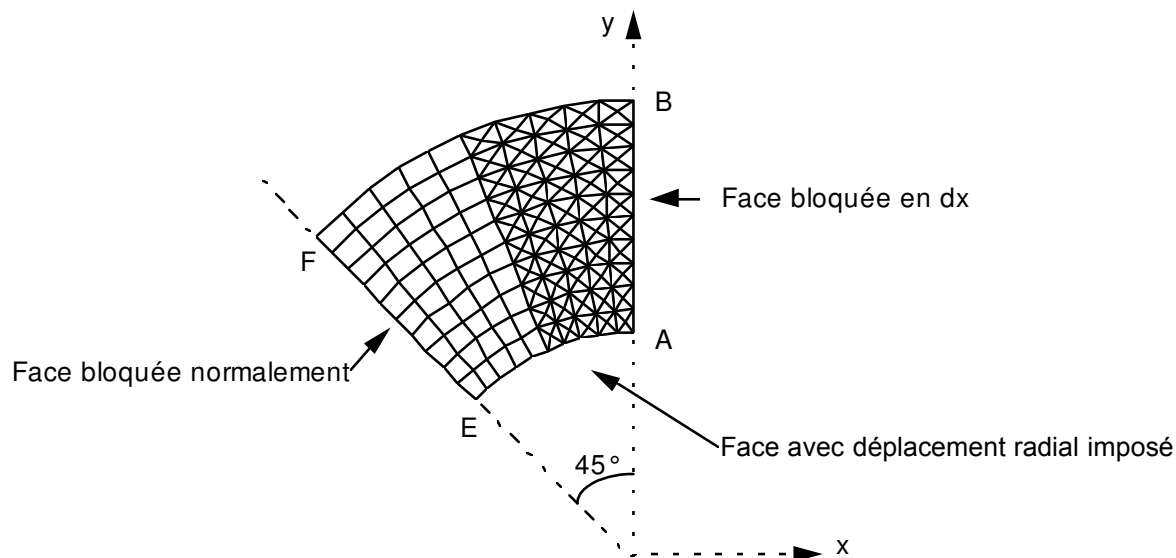
9.4 Remarques

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% (soit le facteur 2, qu'on retrouve sur les contraintes).

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. | côté 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.

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 | $2. 10^{-3}$ |

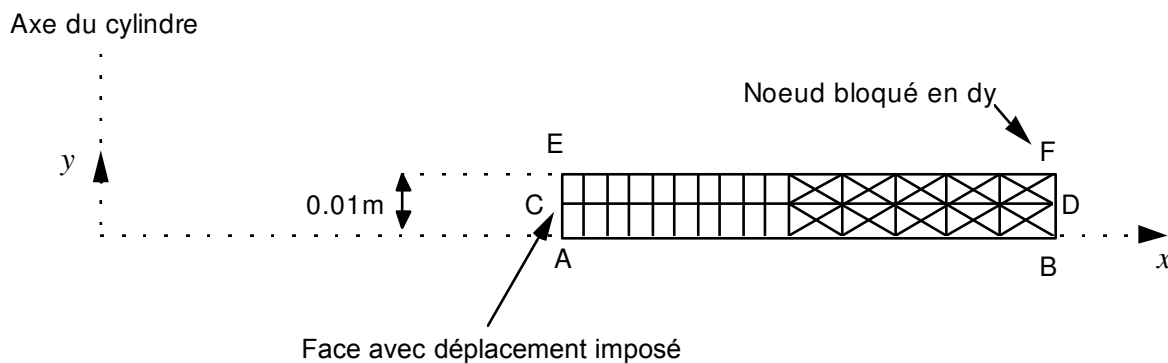
10.4 Remarques

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

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 :

| | | | |
|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| <code>DDL_IMPO =</code> | <code>GROUP_NO = 'FACSUP'</code> | <code>DY = 0.</code> | côté <i>EF</i> |
| | <code>GROUP_NO = 'FACINF'</code> | <code>DY = 0.</code> | côté <i>AB</i> |
| <code>FACE_IMPO =</code> | <code>GROUP_MA = 'FACEAE'</code> | <code>DX = 6. 10⁻⁵</code> | face <i>AE</i> |

11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 175.

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

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. | $5. 10^{-3}$ |

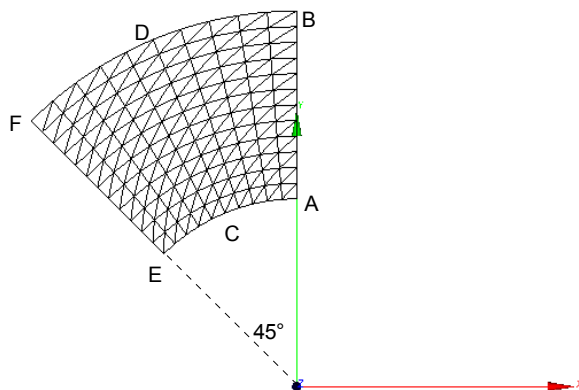
11.4 Remarques

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

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. | faces <i>AEFD</i> ($z=0$ et |
| $z=0.01$) | | | |
| | GROUP_NO = 'FACEAB' | DX = 0. | face <i>AB</i> |
| FACE_IMPO = | GROUP_MA = 'FACEEF' | DNOR = 0. | face <i>EF</i> |
| | GROUP_MA = 'FACEAE' | DNOR = -6.10^{-5} | face <i>AE</i> |

12.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1861
Nombre de mailles : 480 PENTA15

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.

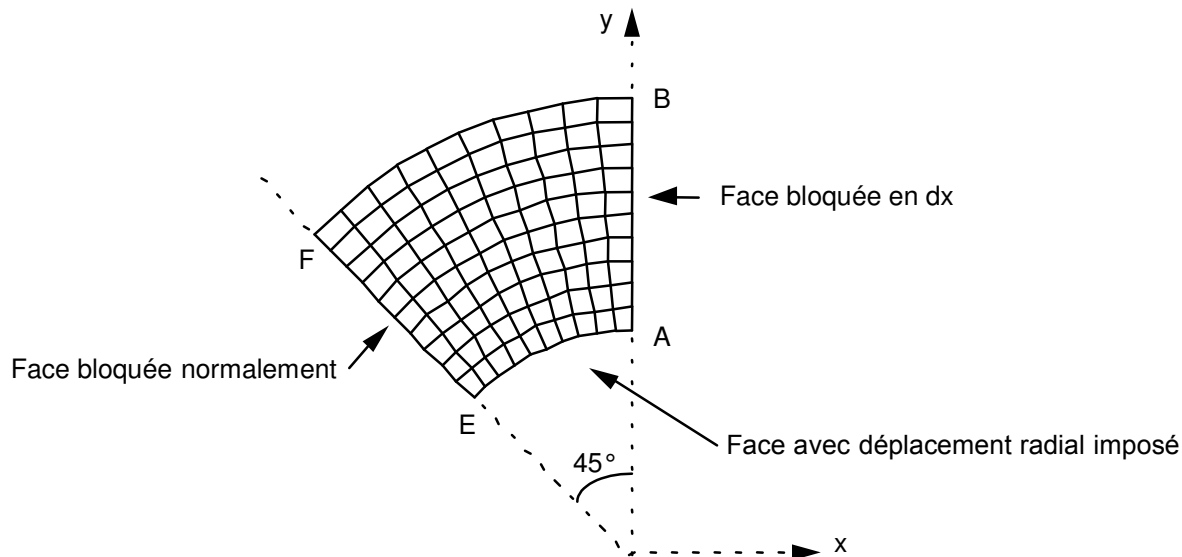
| Identification | | Type de référence | Référence | Tolérance |
|----------------|---------------|-------------------|--------------|--------------|
| A | u | ANALYTIQUE | 0. | $1. 10^{-5}$ |
| | v | ANALYTIQUE | $6. 10^{-5}$ | $1. 10^{-3}$ |
| | σ_{xx} | ANALYTIQUE | 99.9566 | 0.0002 |
| | σ_{yy} | 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 |

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. | faces $AEFD$ ($z=0$ et |
| | GROUP_NO = 'FACINF' | DZ = 0. | |
| $z=0.01$) | | | |
| | 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 |

13.2 Caractéristiques du maillage

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

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 |

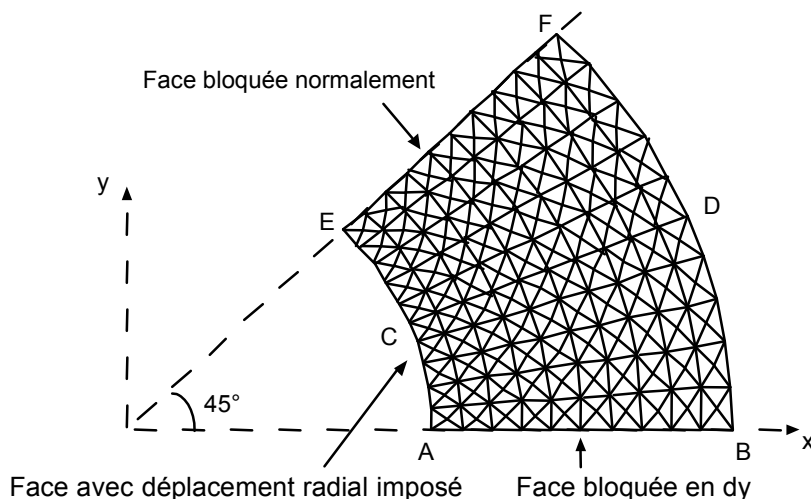
13.4 Remarques

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.

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

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 |

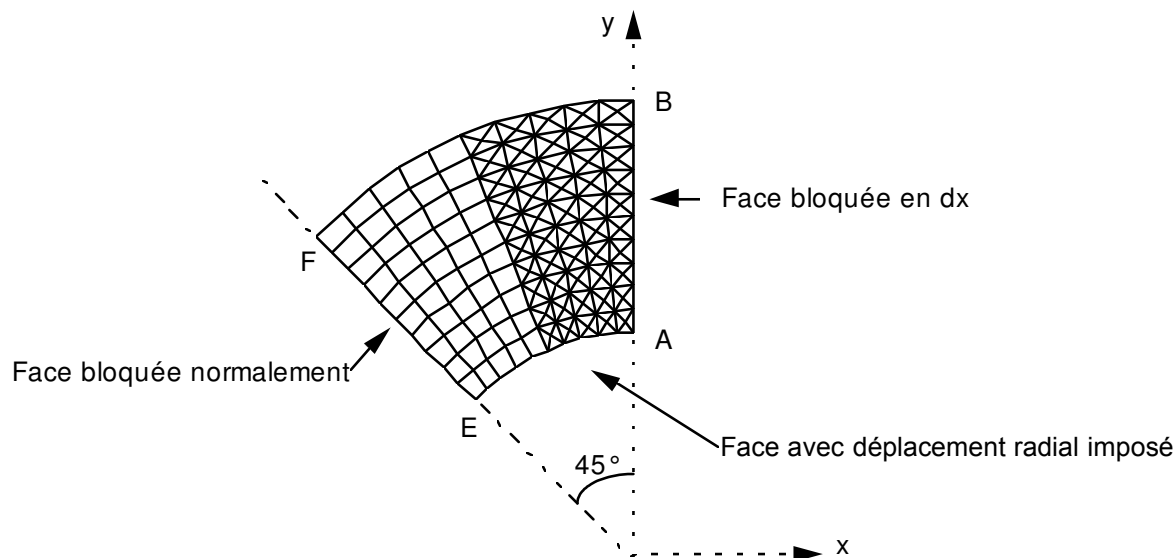
14.4 Remarques

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% (soit le facteur 2, qu'on retrouve sur les contraintes).

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. | côté 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.

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 |

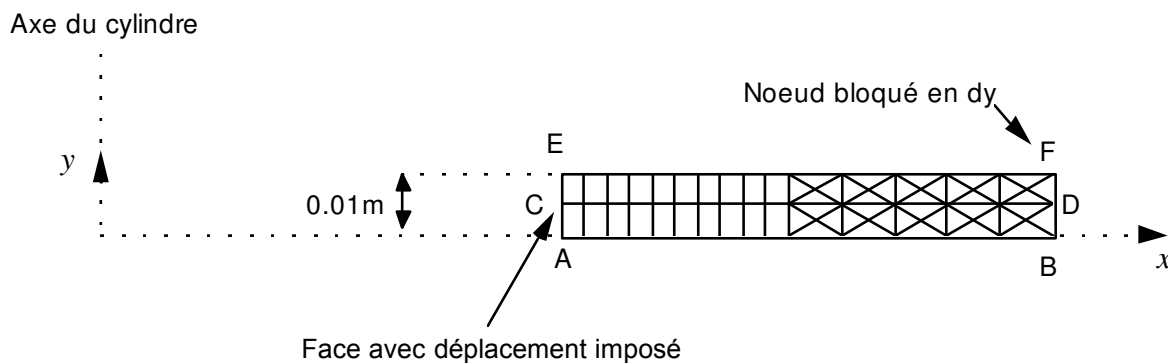
15.4 Remarques

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

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 :

| | | | | |
|------------------------|----------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| <code>DDL_IMPO</code> | <code>=</code> | <code>GROUP_NO = 'FACSUP'</code> | <code>DY = 0.</code> | côté <i>EF</i> |
| | | <code>GROUP_NO = 'FACINF'</code> | <code>DY = 0.</code> | côté <i>AB</i> |
| <code>FACE_IMPO</code> | <code>=</code> | <code>GROUP_MA = 'FACEAE'</code> | <code>DX = 6. 10⁻⁵</code> | face <i>AE</i> |

16.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 175.

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

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 |

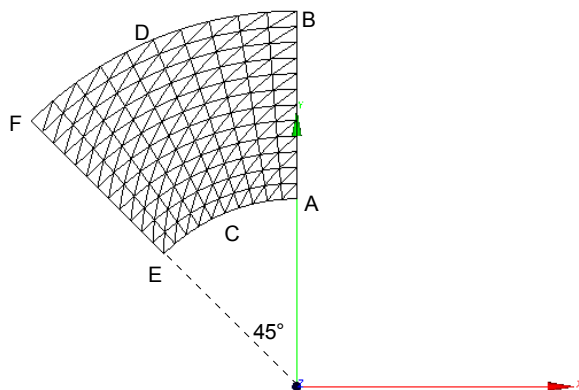
16.4 Remarques

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

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 <i>AEFD</i> ($z=0$ et |
| $z=0.01$) | | | |
| | GROUP_NO = 'FACEAB' | DX = 0. | face <i>AB</i> |
| FACE_IMPO = | GROUP_MA = 'FACEEF' | DNOR = 0. | face <i>EF</i> |
| | GROUP_MA = 'FACEAE' | DNOR = -6.10^{-5} | face <i>AE</i> |

17.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1861
Nombre de mailles : 480 PENTA15

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.

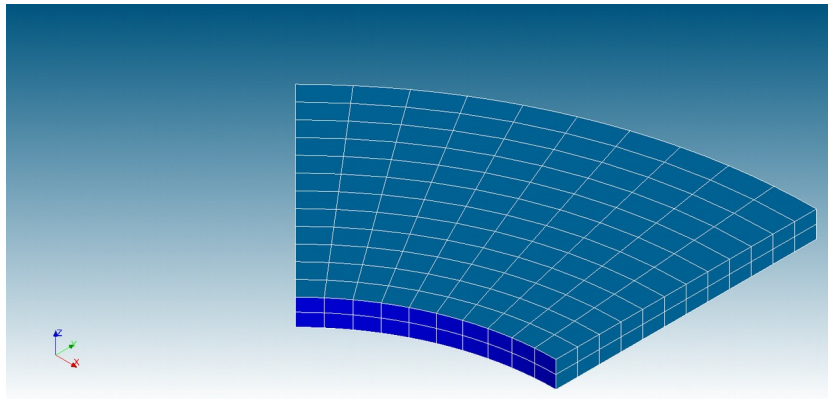
| Identification | | Type de référence | Référence | Tolérance |
|----------------|---------------|-------------------|--------------|--------------|
| A | u | ANALYTIQUE | 0. | $1. 10^{-5}$ |
| | v | ANALYTIQUE | $6. 10^{-5}$ | $1. 10^{-3}$ |
| | σ_{xx} | ANALYTIQUE | 99.9566 | 0.0002 |
| | σ_{yy} | 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 |

18 Modélisation P

18.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments 3D_INCO_UPGB (DEFORMATION='SIME_MIEHE') incompressibles de type HEXA20 uniquement.



18.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1501
Nombre de mailles : 240 PENTA15

18.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F . Les composantes du champ SIEQ_NOEU et EPSG_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. | 1.2 |
| | E_{xx} | ANALYTIQUE 0.00059946 | 0.0002 |
| | E_{yy} | ANALYTIQUE -0.00060018 | 0.0025 |
| | 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 |

Test sur l'estimateur en résidu (ERME_ELEM et ERME_ELNO) :

| Identification | | Type de référence | Lieu |
|----------------|--------|-------------------|-----------|
| ERME_ELEM | NUEST | NON_REGRESSION | Maille M1 |
| ERME_ELNO | ERREST | NON_REGRESSION | Nœud A |

19 Modélisation Q

19.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments 3D_INCO_UPGB (DEFORMATION='SIME_MIEHE') incompressibles de type TETRA4 uniquement.

19.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 336
Nombre de mailles : 1126 TETRA4

19.3 Grandeurs testées et résultats

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

| Identification | Type de référence | Référence | Tolérance |
|----------------|-------------------|--------------|--------------|
| A u | ANALYTIQUE | 0. | $1. 10^{-5}$ |
| v | ANALYTIQUE | $6. 10^{-5}$ | $2. 10^{-3}$ |
| σ_{xx} | ANALYTIQUE | 99.9566 | 0.025 |
| σ_{yy} | ANALYTIQUE | -59.9955 | 0.02 |
| σ_{zz} | ANALYTIQUE | 19.9326 | 0.03 |
| σ_{xy} | ANALYTIQUE | 0. | 3.0 |
| 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 |

Test sur l'estimateur en résidu (ERME_ELEM et ERME_ELNO) :

| Identification | Type de référence | Lieu |
|------------------|-------------------|-----------|
| ERME_ELEM NUEST | NON_REGRESSION | Maille M1 |
| ERME_ELNO ERREST | NON_REGRESSION | Nœud A |

20 Modélisation R

20.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments D_PLAN_INCO_UPGB (DEFORMATION='SIME_MIEHE')
incompressibles de type TRIA6 et QUAD8.

20.2 Caractéristiques du maillage

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

20.3 Grandeurs testées et résultats

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

| Identification | Type de référence | Référence | Tolérance |
|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| <i>A</i> <i>u</i> | ANALYTIQUE | 0. | 1. 10 ⁻⁵ |
| <i>v</i> | 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. | 3.0 |
| E_{xx} | ANALYTIQUE | 0.00059946 | 0.013 |
| E_{yy} | ANALYTIQUE | -0.00060018 | 0.01 |
| 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 |
|-------------------|-------------------|--------------------------|---------------------|
| <i>F</i> <i>u</i> | ANALYTIQUE | -2.1217 10 ⁻⁵ | 5. 10 ⁻³ |
| <i>v</i> | 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 |

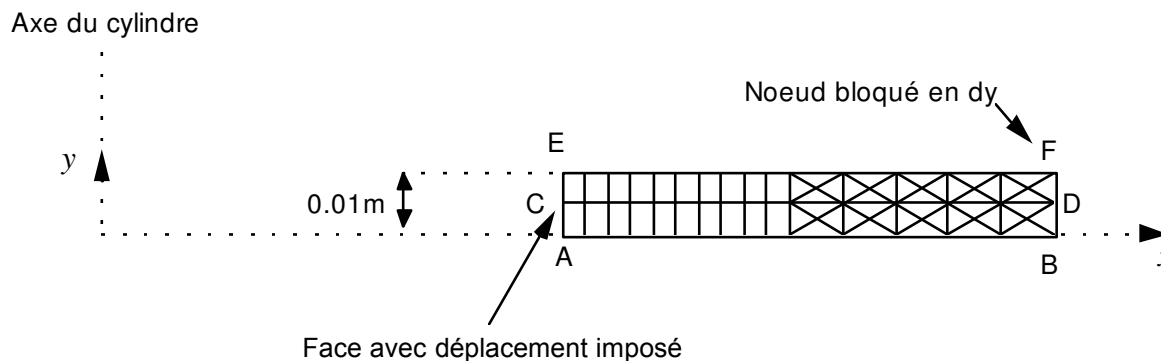
Test sur l'estimateur en résidu (ERME_ELEM et ERME_ELNO) :

| Identification | Type de référence | Lieu |
|------------------|-------------------|-----------|
| ERME_ELEM NUEST | NON REGRESSION | Maille M1 |
| ERME_ELNO ERREST | NON REGRESSION | Nœud A |

21 Modélisation S

21.1 Caractéristiques de la modélisation

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



Conditions limites :

| | | | |
|-------------|----------------------|------------------------|---------|
| DDL_IMPO = | GROUP_NO = 'FAC SUP' | DY = 0. | côté EF |
| | GROUP_NO = 'FAC INF' | DY = 0. | côté AB |
| FACE_IMPO = | GROUP_MA = 'FACE AE' | DX = $6 \cdot 10^{-5}$ | face AE |

21.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 175.

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

21.3 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 |
|----------------|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <i>A</i> | <i>u</i> | ANALYTIQUE | $6 \cdot 10^{-5}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ |
| | <i>v</i> | ANALYTIQUE | 0. | $1 \cdot 10^{-5}$ |
| | σ_{xx} | ANALYTIQUE | -59.9955 | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| | σ_{yy} | ANALYTIQUE | 19.9326 | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| | σ_{zz} | ANALYTIQUE | 99.9566 | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| | σ_{xy} | ANALYTIQUE | 0. | $1 \cdot 10^{-5}$ |
| | VMIS | ANALYTIQUE | 138.5226 | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| | TRESCA | ANALYTIQUE | 159.9521 | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| | PRIN_1 | ANALYTIQUE | -59.9955 | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| | PRIN_2 | ANALYTIQUE | 19.9326 | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| | PRIN_3 | ANALYTIQUE | 99.9566 | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| | VMIS_SG | ANALYTIQUE | 138.5226 | $5 \cdot 10^{-3}$ |

| 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. | $5. 10^{-3}$ |

Test sur l'estimateur en résidu (ERME_ELEM et ERME_ELNO) :

| Identification | Type de référence | Lieu |
|------------------|-------------------|-----------|
| ERME_ELEM NUEST | NON REGRESSION | Maille M1 |
| ERME_ELNO ERREST | NON REGRESSION | Nœud A |

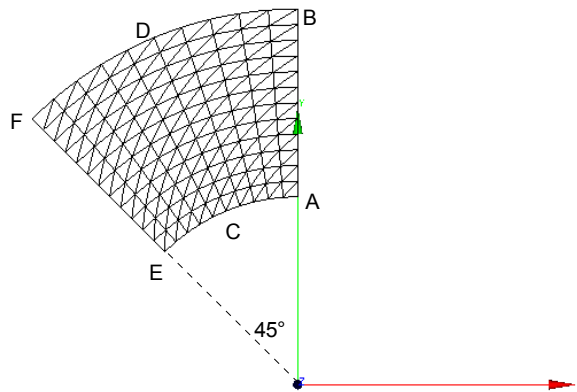
Pour les déformations de Green-Lagrange :

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

22 Modélisation T

22.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments 3D_INCO_UPGB (DEFORMATION='SIMO_MIEHE') 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*

22.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1861
 Nombre de mailles : 480 PENTA15

22.3 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.

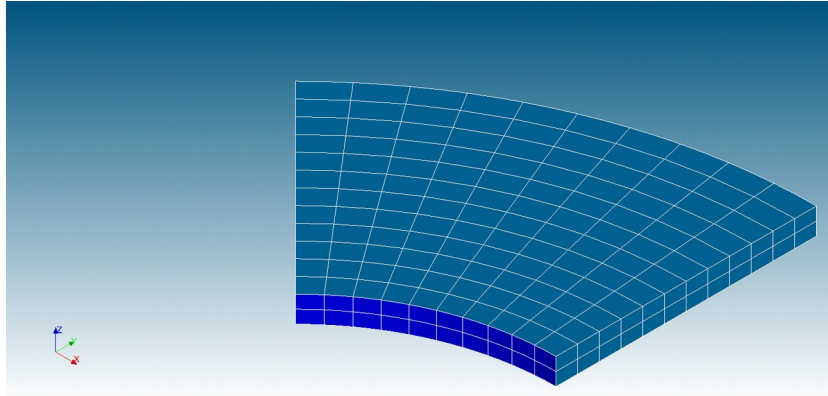
| Identification | Type de référence | Référence | Tolérance |
|----------------|-------------------|-------------|-------------|
| <i>A</i> u | ANALYTIQUE | 0. | 1.10^{-5} |
| v | ANALYTIQUE | 6.10^{-5} | 1.10^{-5} |
| σ_{xx} | ANALYTIQUE | 99.9566 | 0.03 |
| σ_{yy} | ANALYTIQUE | -59.9955 | 0.09 |
| σ_{zz} | ANALYTIQUE | 19.9326 | 0.08 |
| σ_{xy} | ANALYTIQUE | 0. | 0.5 |
| 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 | $-2.1217 \cdot 10^{-5}$ | $3 \cdot 10^{-3}$ |
| v | ANALYTIQUE | $2.1217 \cdot 10^{-5}$ | $3 \cdot 10^{-3}$ |
| 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 |

23 Modélisation U

23.1 Caractéristiques de la modélisation

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



23.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1501
Nombre de mailles : 480 HEXA20

23.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F . Les composantes du champ SIEQ_NOEU et EPSG_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 | 0.001 |
| σ_{yy} | ANALYTIQUE | -59.9955 | 0.003 |
| σ_{zz} | ANALYTIQUE | 19.9326 | 0.005 |
| σ_{xy} | ANALYTIQUE | 0. | 0.03 |
| $E(\log)_{xx}$ | ANALYTIQUE | 0.00059946 | 0.003 |
| $E(\log)_{yy}$ | ANALYTIQUE | -0.00060018 | 0.001 |
| $E(\log)_{zz}$ | ANALYTIQUE | 0 | $1. 10^{-6}$ |
| $E(\log)_{xy}$ | ANALYTIQUE | 0 | $1. 10^{-6}$ |
| 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 | $-2.1217 10^{-5}$ | $5. 10^{-5}$ |
| v | ANALYTIQUE | $2.1217 10^{-5}$ | $5. 10^{-5}$ |

| | | | |
|----------------|------------|-------------|--------------|
| 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 |
| $E(\log)_{xx}$ | ANALYTIQUE | 0.00059946 | 0.002 |
| $E(\log)_{yy}$ | ANALYTIQUE | -0.00060018 | 0.002 |
| $E(\log)_{zz}$ | ANALYTIQUE | 0 | $1. 10^{-6}$ |
| $E(\log)_{xy}$ | ANALYTIQUE | 0.00015002 | 0.015 |

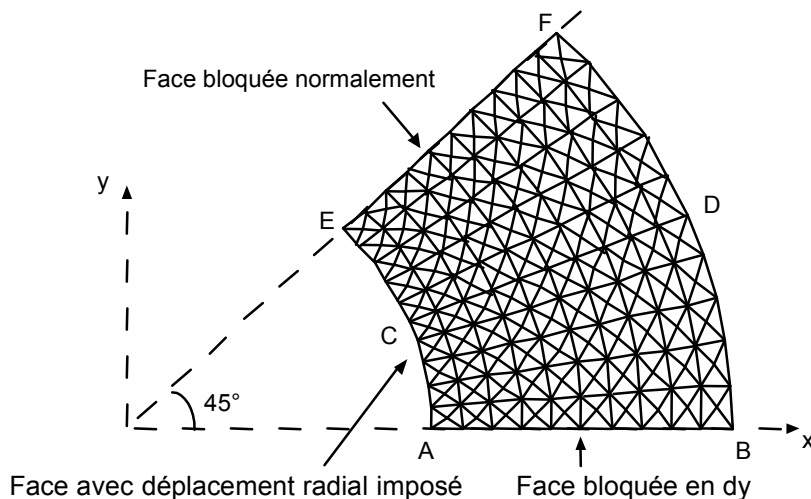
Test sur l'estimateur en résidu (ERME_ELEM et ERME_ELNO) :

| Identification | | Type de référence | Lieu |
|----------------|--------|-------------------|-----------|
| ERME_ELEM | NUEST | NON_REGRESSION | Maille M1 |
| ERME_ELNO | ERREST | NON_REGRESSION | Nœud A |

24 Modélisation V

24.1 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. | 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 |

24.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 2078

Nombre de mailles : 1126 TETRA10

24.3 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. | $2. 10^{-3}$ |
| σ_{xx} | ANALYTIQUE | -59.9955 | 0.02 |
| σ_{yy} | ANALYTIQUE | 99.9566 | 0.03 |
| σ_{zz} | ANALYTIQUE | 19.9326 | 0.03 |
| σ_{xy} | ANALYTIQUE | 0. | 3 |
| $E(\log)_{xx}$ | ANALYTIQUE | 0.00059946 | 0.008 |
| $E(\log)_{yy}$ | ANALYTIQUE | -0.00060018 | 0.01 |
| $E(\log)_{zz}$ | ANALYTIQUE | 0 | $1. 10^{-6}$ |
| $E(\log)_{xy}$ | ANALYTIQUE | 0 | $1. 10^{-6}$ |
| VMIS | ANALYTIQUE | 138.5226 | 0.005 |
| TRESCA | ANALYTIQUE | 159.9521 | 0.005 |
| PRIN_1 | ANALYTIQUE | -59.9955 | 0.03 |
| PRIN_2 | ANALYTIQUE | 19.9326 | 0.03 |
| PRIN_3 | ANALYTIQUE | 99.9566 | 0.015 |
| VMIS_SG | ANALYTIQUE | 138.5226 | 0.005 |

| 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 | 0.003 |
| σ_{yy} | ANALYTIQUE | 20.003 | 0.005 |
| σ_{zz} | ANALYTIQUE | 20.003 | 0.002 |
| σ_{xy} | ANALYTIQUE | -20.003 | 0.01 |
| $E(\log)_{xx}$ | ANALYTIQUE | 0.00059946 | 0.002 |
| $E(\log)_{yy}$ | ANALYTIQUE | -0.00060018 | 0.002 |
| $E(\log)_{zz}$ | ANALYTIQUE | 0 | $1. 10^{-6}$ |
| $E(\log)_{xy}$ | ANALYTIQUE | 0.00015002 | $6. 10^{-3}$ |

Test sur l'estimateur en résidu (ERME_ELEM et ERME_ELNO) :

| Identification | Type de référence | Lieu |
|------------------|-------------------|-----------|
| ERME_ELEM NUEST | NON REGRESSION | Maille M1 |
| ERME_ELNO ERREST | NON REGRESSION | Nœud A |

25 Modélisation W

25.1 Caractéristiques de la modélisation

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

25.2 Caractéristiques du maillage

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

25.3 Grandeurs testées et résultats

Les déplacements et les contraintes sont évalués aux points A et F . Les composantes du champ SIEQ_NOEU et EPSG_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 | $5. 10^{-3}$ |
| σ_{yy} | ANALYTIQUE | -59.9955 | 0.03 |
| σ_{zz} | ANALYTIQUE | 19.9326 | 0.03 |
| σ_{xy} | ANALYTIQUE | 0. | 3.0 |
| $E(\log)_{xx}$ | ANALYTIQUE | 0.00059946 | 0.012 |
| $E(\log)_{yy}$ | ANALYTIQUE | -0.00060018 | 0.012 |
| $E(\log)_{zz}$ | ANALYTIQUE | 0 | $1. 10^{-6}$ |
| $E(\log)_{xy}$ | ANALYTIQUE | 0 | $1. 10^{-6}$ |
| 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 | 0.004 |
| VMIS_SG | ANALYTIQUE | 138.5226 | 0.02 |

| 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 | $2. 10^{-3}$ |
| $E(\log)_{xx}$ | ANALYTIQUE | 0.00059946 | 0.002 |
| $E(\log)_{yy}$ | ANALYTIQUE | -0.00060018 | 0.002 |
| $E(\log)_{zz}$ | ANALYTIQUE | 0 | $1. 10^{-6}$ |
| $E(\log)_{xy}$ | ANALYTIQUE | 0.00015002 | 0.0015 |

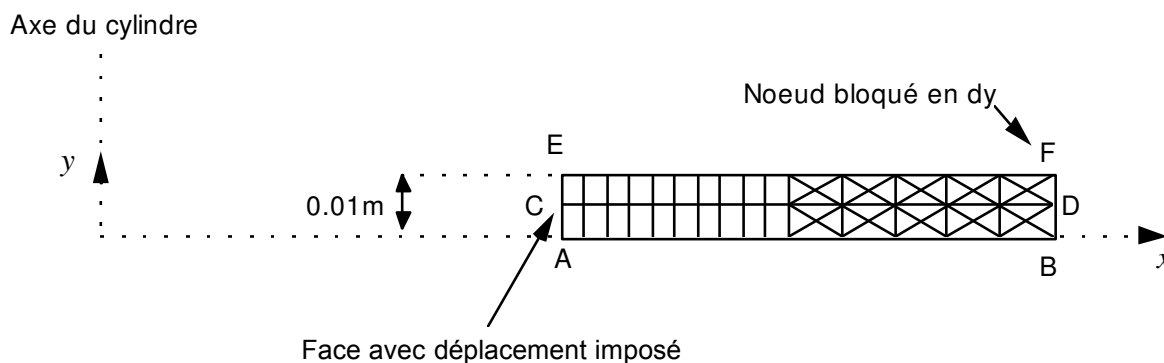
Test sur l'estimateur en résidu (ERME_ELEM et ERME_ELNO) :

| Identification | | | Type de référence | Lieu |
|----------------|------|--------|-------------------|-----------|
| ERME | ELEM | NUEST | NON REGRESSION | Maille M1 |
| ERME | ELNO | ERREST | NON REGRESSION | Nœud A |

26 Modélisation X

26.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments `AXIS_INCO_UPGB` (`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
```

26.2 Caractéristiques du maillage

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

26.3 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 |
|----------------|-------------------|--------------|--------------|
| <i>A</i> | <i>u</i> | $6. 10^{-5}$ | $1. 10^{-3}$ |
| | <i>v</i> | 0. | $1. 10^{-3}$ |
| | σ_{xx} | -59.9955 | $5. 10^{-3}$ |
| | σ_{yy} | 19.9326 | $5. 10^{-3}$ |
| | σ_{zz} | 99.9566 | $5. 10^{-4}$ |
| | σ_{xy} | 0. | $1. 10^{-6}$ |
| | $E(\log)_{xx}$ | 0.00059946 | 0.003 |
| | $E(\log)_{yy}$ | -0.00060018 | 0.001 |
| | $E(\log)_{zz}$ | 0.00060018 | 0.005 |
| | $E(\log)_{xy}$ | 0 | $1. 10^{-6}$ |
| | VMIS | 138.5226 | $2. 10^{-3}$ |
| | TRESCA | 159.9521 | $2. 10^{-3}$ |
| | PRIN_1 | -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. | $1. 10^{-3}$ |
| σ_{xx} | ANALYTIQUE | 0. | 0.03 |
| σ_{yy} | ANALYTIQUE | 20.0 | $3. 10^{-4}$ |
| σ_{zz} | ANALYTIQUE | 40.006 | $3. 10^{-4}$ |
| σ_{xy} | ANALYTIQUE | 0. | $1. 10^{-6}$ |
| $E(\log)_{xx}$ | ANALYTIQUE | -0.00015 | 0.002 |
| $E(\log)_{yy}$ | ANALYTIQUE | 0 | $1. 10^{-6}$ |
| $E(\log)_{zz}$ | ANALYTIQUE | +0.00015 | 0.0025 |
| $E(\log)_{xy}$ | ANALYTIQUE | 0 | $1. 10^{-6}$ |

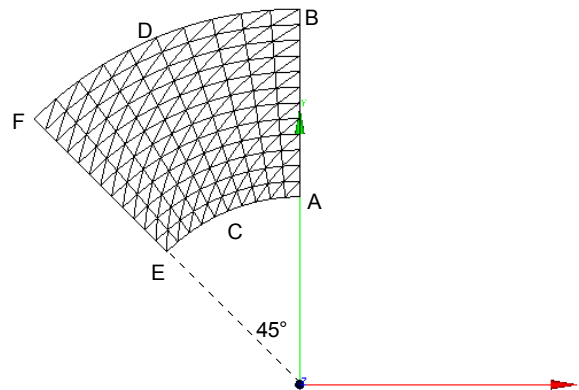
Test sur l'estimateur en résidu (ERME_ELEM et ERME_ELNO) :

| Identification | Type de référence | Lieu |
|------------------|-------------------|-----------|
| ERME_ELEM NUEST | NON REGRESSION | Maille M1 |
| ERME_ELNO ERREST | NON REGRESSION | Nœud A |

27 Modélisation Y

27.1 Caractéristiques de la modélisation

Maillage avec des éléments 3D_INCO_UPGB (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*

27.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1861
 Nombre de mailles : 480 PENTA15

27.3 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 |
|----------------|-------------------|-------------|-------------|
| <i>A</i> 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. | 0.08 |
| $E(\log)_{xx}$ | ANALYTIQUE | 0.00060018 | 0.05 |
| $E(\log)_{yy}$ | ANALYTIQUE | -0.00059946 | 0.05 |
| $E(\log)_{zz}$ | ANALYTIQUE | 0 | 1.10^{-6} |
| $E(\log)_{xy}$ | ANALYTIQUE | 0 | 1.10^{-6} |
| 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 | $-2.1217 \cdot 10^{-5}$ | $3 \cdot 10^{-3}$ |
| v | ANALYTIQUE | $2.1217 \cdot 10^{-5}$ | $3 \cdot 10^{-3}$ |
| 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 | 0.01 |
| $E(\log)_{xx}$ | ANALYTIQUE | +0.00015 | 0.002 |
| $E(\log)_{yy}$ | ANALYTIQUE | -0.00015 | 0.002 |
| $E(\log)_{zz}$ | ANALYTIQUE | 0 | $1 \cdot 10^{-6}$ |
| $E(\log)_{xy}$ | ANALYTIQUE | +0.00015 | 0.01 |

28 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.