

SSNP14 - Plaque en traction-cisaillement - Von Mises (écrouissage cinématique)

Résumé :

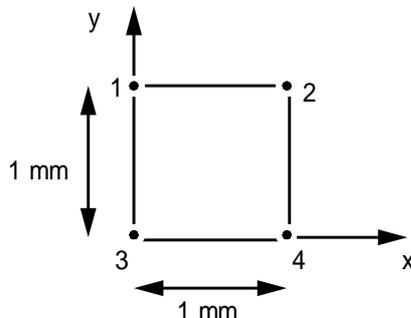
Ce test 2D contraintes planes quasi-statique, issu du guide VPCS, entre dans le cadre de la validation des relations de comportement élasto-plastique. Un élément de volume, constitué d'un matériau plastique à écrouissage cinématique linéaire, est soumis à la fois à un effort de traction et de cisaillement.

L'intérêt principal de ce test réside dans le caractère non radial du chargement.

1 Problème de référence

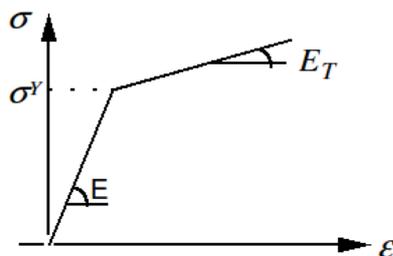
1.1 Géométrie

Les contraintes et déformations sont homogènes dans l'élément de volume. Celui-ci peut être représenté par un élément plan ou volumique, par exemple :



1.2 Propriétés de matériaux

Loi de comportement élastoplastique à écrouissage cinématique linéaire.



$$E = 195000 \text{ MPa}$$

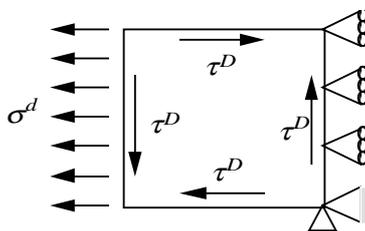
$$\nu = 0.3$$

$$\sigma^y = 181 \text{ MPa}$$

$$E_T = 1930 \text{ MPa}$$

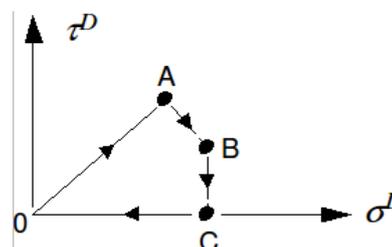
1.3 Conditions aux limites et chargements

L'élément de volume est bloqué suivant Ox le long du côté [2,4] tout en étant soumis à une traction σ^D et un effort de cisaillement τ^D .



Le trajet de chargement est le suivant :

| | σ^D (MPa) | τ^D (MPa) |
|---|-----------------------|---------------------|
| A | 151.2 | 93.1 |
| B | 257.3 | 33.1 |
| C | 259.3 | 0 |



2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

La contrainte est fixée par le trajet de chargement (pilotage en contrainte), soit :

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma^D & \tau^D & 0 \\ \tau^D & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

On en déduit la part élastique de la déformation :

$$\varepsilon^e = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} \sigma^D & (1+\nu)\tau^D & 0 \\ (1+\nu)\tau^D & -\nu\sigma^D & 0 \\ 0 & 0 & -\nu\sigma^D \end{bmatrix}$$

Si l'on suppose maintenant que l'on connaît la déformation totale ε , alors on peut en déduire la déformation plastique : $\varepsilon^p = \varepsilon - \varepsilon^e$

Remarque :

$$\varepsilon_{xx}^p + \varepsilon_{yy}^p + \varepsilon_{zz}^p = 0 \text{ et } \varepsilon_{yy}^p = \varepsilon_{zz}^p \text{ donc } \varepsilon_{yy}^p = \varepsilon_{zz}^p = \frac{-\varepsilon_{xx}^p}{2}$$

puis la contrainte de rappel :

$$\chi = C \varepsilon^p \text{ avec } \frac{2}{3C} = \frac{1}{E^T} - \frac{1}{E} \text{ avec } C : \text{ constante de Prager}$$

De plus, pour obtenir une précision correcte, il faut utiliser un nombre d'incrémentes assez important pour le trajet AB , en l'occurrence, au moins 30 dans le cas présent. De même pour le trajet BC .

2.2 Résultats de référence

La donnée de la déformation totale ε est nécessaire pour les calculs précédents. Elle est obtenue comme moyenne des résultats de plusieurs codes.

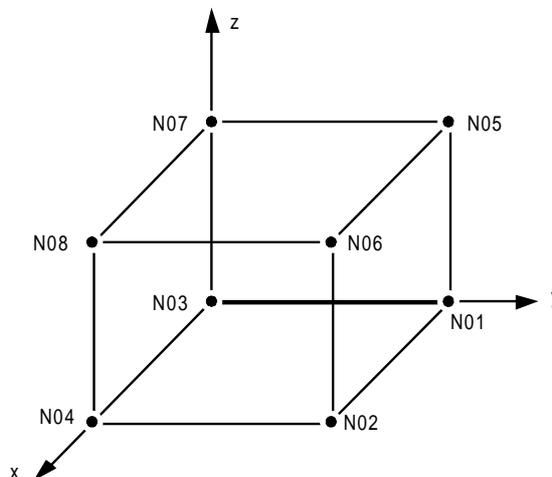
2.3 Références bibliographiques

[1] Guide de Validation des Progiciels de Calcul de Structures - SFM. Afnor technique

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée est 3D.



Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

- DDL_IMPO: (NOEUD: N08, DX: 0., DY:0., DZ:0.)
DDL_IMPO: (NOEUD: N02, DX: 0.)
DDL_IMPO: (NOEUD: N06, DX: 0.)
- des forces surfaciques imposées (mot clé FORCE_FACE) sur les faces (mailles de peau) (1,5,6,2), (1, 5, 7,3), (3,4,8,7) et (4,8,6,2).

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8

Nombre de mailles et types : 1 HEXA8 + 4 QUAD4 (faces)

3.3 Grandeurs testées et résultats

| Identification | Instants | Type de Référence | Référence |
|---------------------|----------|-------------------|-------------|
| ϵ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 1.48297 E-2 |
| ϵ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 1.36014 E-2 |
| $X_{xx} = \sqrt{1}$ | A | NON_REGRESSION | 18.26 |
| $X_{xy} = \sqrt{4}$ | A | NON_REGRESSION | 1.68688 E+1 |
| ϵ_{xx} | B | NON_REGRESSION | 4.066 E-2 |
| ϵ_{xy} | B | NON_REGRESSION | 1.978 E-2 |
| ϵ_{xx} | C | NON_REGRESSION | 4.4103 E-2 |
| ϵ_{xy} | C | NON_REGRESSION | 1.8913 E-2 |

Indicateurs de décharge en un point de Gauss (DERA_ELGA), et au nœud N_2 (DERA_ELNO).

| Identification | Type de référence | Valeur de référence |
|--------------------------|-------------------|---------------------|
| DCHA_V à l'instant 0.1 | 'NON_REGRESSION' | 0.877871 |
| RADI_V à l'instant 1,5 | 'NON_REGRESSION' | 0 |
| ERR_RADI à l'instant 1,5 | 'NON_REGRESSION' | 0.0125766 |

De plus, dans une seconde série de calculs, on teste l'indicateur d'erreur due à la non radialité du chargement : à partir d'une discrétisation temporelle grossière (2 incréments sur les trajets AB et BC , et un incrément sur les autres), on active la subdivision du pas de temps si l'erreur due à la non radialité dépasse 2% ($RESI_RADI_RELA=0.02$). Ce test est effectué pour 3 comportements équivalents : $VMIS_CINE_LINE$, $VMIS_ECMI_LINE$, $VMIS_CIN2_CHAB$.

Les résultats sont :

$VMIS_CINE_LINE$ et $VMIS_ECMI_LINE$

| Identification | Instants | Type de Référence | Référence | Tolérance |
|-----------------|----------|-------------------|-------------|-----------|
| ϵ_{xx} | A | AUTRE_ASTER | 1.48297 E-2 | 0.10% |
| ϵ_{xy} | A | AUTRE_ASTER | 1.36014 E-2 | 0.10% |
| $X_{xx} = V1$ | A | AUTRE_ASTER | 18.26 | 0.10% |
| $X_{xy} = V4$ | A | AUTRE_ASTER | 1.68688 E+1 | 0.10% |
| ϵ_{xx} | B | AUTRE_ASTER | 4.066 E-2 | 0.10% |
| ϵ_{xy} | B | AUTRE_ASTER | 1.978 E-2 | 0.10% |
| ϵ_{xx} | C | AUTRE_ASTER | 4.4103 E-2 | 0.10% |
| ϵ_{xy} | C | AUTRE_ASTER | 1.8913 E-2 | 0.10% |

$VMIS_CIN1_CHAB$

| Identification | Instants | Type de Référence | Référence | Tolérance |
|-----------------|----------|-------------------|-------------|-----------|
| ϵ_{xx} | A | AUTRE_ASTER | 1.48297 E-2 | 1.00% |
| ϵ_{xy} | A | AUTRE_ASTER | 1.36014 E-2 | 1.00% |
| $X_{xx} = V1$ | A | AUTRE_ASTER | 18.26 | 1.00% |
| $X_{xy} = V4$ | A | AUTRE_ASTER | 1.68688 E+1 | 1.00% |
| ϵ_{xx} | B | AUTRE_ASTER | 4.066 E-2 | 1.00% |
| ϵ_{xy} | B | AUTRE_ASTER | 1.978 E-2 | 1.00% |
| ϵ_{xx} | C | AUTRE_ASTER | 4.4103 E-2 | 1.00% |
| ϵ_{xy} | C | AUTRE_ASTER | 1.8913 E-2 | 1.00% |

Pour les trois comportements, l'indicateur d'erreur en radialité fournit le même résultat :

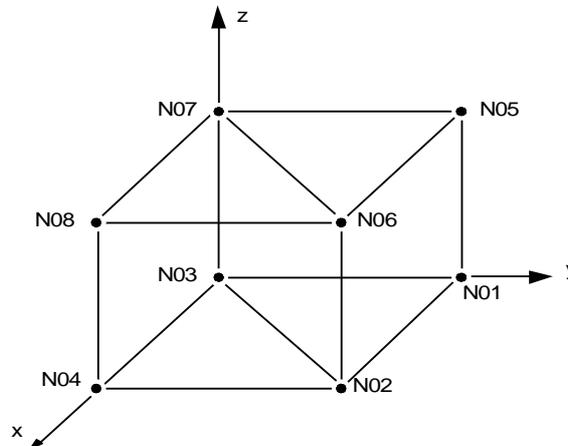
| Identification | Type de référence | Valeur de référence |
|--------------------------|-------------------|---------------------|
| ERR_RADI à l'instant 1,5 | 'NON_REGRESSION' | 0.011798 |
| ERR_RADI à l'instant 2,5 | 'NON_REGRESSION' | 0.01956 |

L'utilisation du critère de radialité pour raffiner automatiquement le pas de temps conduit à 56 pas de temps au total, contre 64 dans le premier cas (avec 30 incréments sur AB et BC), pour un résultat de qualité équivalente (erreur de 1,2% environ à $t=1.5$, et 2% à $t=2.5$).

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée est 3D .



Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

- DDL_IMPO: (NOEUD: N04, DX: 0., DY:0.)
DDL_IMPO: (NOEUD: N08, DX: 0., DY:0., DZ:0.)
DDL_IMPO: (NOEUD: N02, DX: 0.)
DDL_IMPO: (NOEUD: N06, DX: 0.)
- des forces surfaciques imposées (mot clé FORCE_FACE) sur les faces (mailles de peau)
(1,5,6,2), (1, 5, 7,3), (3,4,8,7) et (4,8,6,2) .

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8

Nombre de mailles et types : 1 PENTA6 + 4 QUAD4 (faces)

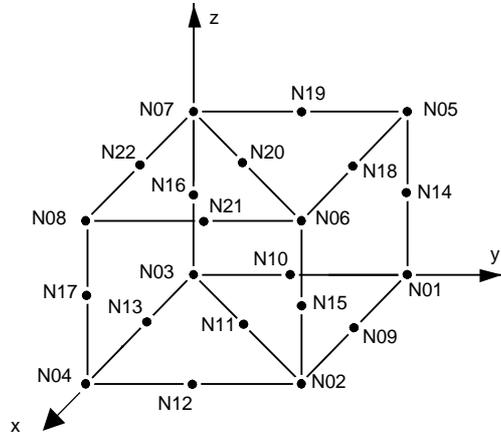
4.3 Grandeurs testées et résultats

| Identification | Instants | Type de Référence | Référence |
|-----------------|----------|-------------------|--------------|
| σ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 151.2 |
| σ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 93.1 |
| ϵ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 1.48297 E-2 |
| ϵ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 1.36014 E-2 |
| χ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 1.82640 E+1 |
| χ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 1.68688 E+1 |
| χ_{yy} | A | NON_REGRESSION | -0.91320 E+1 |
| ϵ_{xx} | B | NON_REGRESSION | 4.0444 E-2 |
| ϵ_{xy} | B | NON_REGRESSION | 1.9917 E-2 |
| ϵ_{xx} | C | NON_REGRESSION | 4.4177 E-2 |
| ϵ_{xy} | C | NON_REGRESSION | 1.9205 E-2 |
| ϵ_{xx} | O | NON_REGRESSION | 4.2848 E-2 |
| ϵ_{xy} | O | NON_REGRESSION | 1.9203 E-2 |

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée est 3D .



Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

- DDL_IMPO: (NOEUD: N04, DX: 0., DY:0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N08, DX: 0., DY:0., DZ:0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N02, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N06, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N15, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N21, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N17, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N12, DX: 0.)
- des forces surfaciques imposées (mot clé FORCE_FACE) sur les faces (mailles de peau)
(1, 14, 5, 18, 6, 15, 2, 9), (1, 14, 5, 19, 7, 16, 3, 10), (3, 13, 4, 17, 8, 22, 7, 16) et
(4, 17, 8, 21, 6, 15, 2, 12).

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 22

Nombre de mailles et types : 1 PENTA15 + 4 QUAD8 (faces)

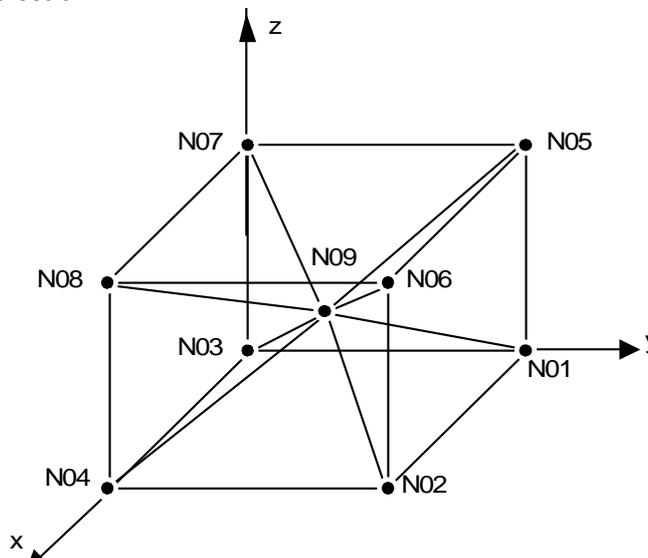
5.3 Grandeurs testées et résultats

| Identification | Instants | Type de Référence | Référence |
|--------------------|----------|-------------------|--------------|
| σ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 151.2 |
| σ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 93.1 |
| ε_{xx} | A | NON_REGRESSION | 1.48297 E-2 |
| ε_{xy} | A | NON_REGRESSION | 1.36014 E-2 |
| X_{xx} | A | NON_REGRESSION | 1.82640 E+1 |
| X_{xy} | A | NON_REGRESSION | 1.68688 E+1 |
| X_{yy} | A | NON_REGRESSION | -0.91320 E+1 |
| ε_{xx} | B | NON_REGRESSION | 4.0444 E-2 |
| ε_{xy} | B | NON_REGRESSION | 1.9917 E-2 |
| ε_{xx} | C | NON_REGRESSION | 4.4177 E-2 |
| ε_{xy} | C | NON_REGRESSION | 1.9205 E-2 |
| ε_{xx} | O | NON_REGRESSION | 4.2848 E-2 |
| ε_{xy} | O | NON_REGRESSION | 1.9203 E-2 |

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée est 3D .



Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

- DDL_IMPO: (NOEUD: N04, DX: 0., DY:0.)
DDL_IMPO: (NOEUD: N08, DX: 0., DY:0., DZ:0.)
DDL_IMPO: (NOEUD: N02, DX: 0.)
DDL_IMPO: (NOEUD: N06, DX: 0.)
- des forces surfaciques imposées (mot clé FORCE_FACE) sur les faces (mailles de peau) (1,5,6,2) , (1,5,7,3) , (3,4,8,7) et (4,8,6,2) .

6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 9

Nombre de mailles et types : 6 PYRAM5 et 4 QUAD4 (faces)

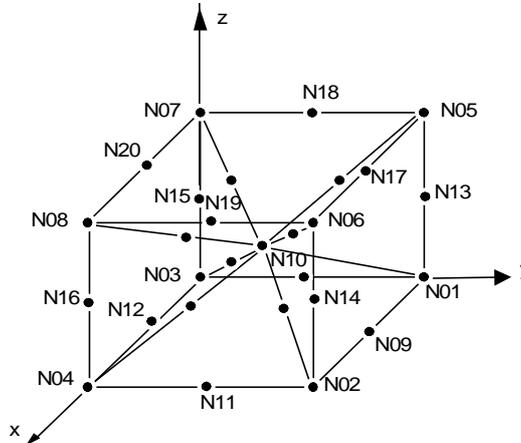
6.3 Grandeurs testées et résultats

| Identification | Instants | Type de Référence | Référence |
|-----------------|----------|-------------------|--------------|
| σ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 151.2 |
| σ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 93.1 |
| ϵ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 1.48297 E-2 |
| ϵ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 1.36014 E-2 |
| χ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 1.82640 E+1 |
| χ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 1.68688 E+1 |
| χ_{yy} | A | NON_REGRESSION | -0.91320 E+1 |
| ϵ_{xx} | B | NON_REGRESSION | 4.0444 E-2 |
| ϵ_{xy} | B | NON_REGRESSION | 1.9917 E-2 |
| ϵ_{xx} | C | NON_REGRESSION | 4.4177 E-2 |
| ϵ_{xy} | C | NON_REGRESSION | 1.9205 E-2 |
| ϵ_{xx} | O | NON_REGRESSION | 4.2848 E-2 |
| ϵ_{xy} | O | NON_REGRESSION | 1.9203 E-2 |

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée est 3D .



Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

- DDL_IMPO: (NOEUD: N04, DX: 0., DY:0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N08, DX: 0., DY:0., DZ:0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N02, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N06, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N11, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N14, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N16, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N19, DX: 0.)
- des forces surfaciques imposées (mot clé FORCE_FACE) sur les faces (mailles de peau)
(1, 13, 5, 17, 6, 14, 2, 9), (1, 13, 5, 18, 7, 15, 3, 10), (3, 12, 4, 16, 8, 10, 7, 15) et
(4, 16, 8, 19, 6, 14, 2, 11) .

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 29

Nombre de mailles et types : 6 PYRAM13 et 4 QUAD8 (faces)

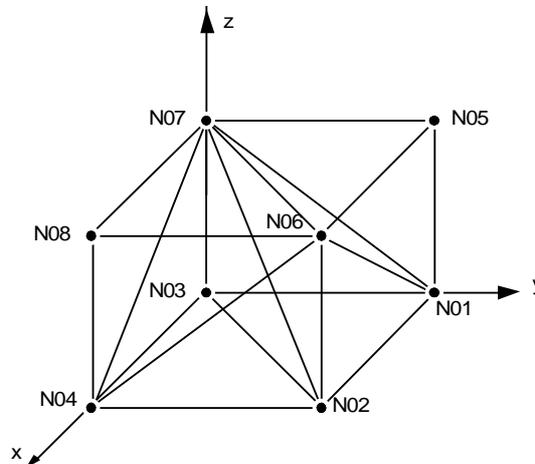
7.3 Grandeurs testées et résultats

| Identification | Instants | Type de Référence | Référence |
|-----------------|----------|-------------------|--------------|
| σ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 151.2 |
| σ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 93.1 |
| ϵ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 1.48297 E-2 |
| ϵ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 1.36014 E-2 |
| χ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 1.82640 E+1 |
| χ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 1.68688 E+1 |
| χ_{yy} | A | NON_REGRESSION | -0.91320 E+1 |
| ϵ_{xx} | B | NON_REGRESSION | 4.0444 E-2 |
| ϵ_{xy} | B | NON_REGRESSION | 1.9917 E-2 |
| ϵ_{xx} | C | NON_REGRESSION | 4.4177 E-2 |
| ϵ_{xy} | C | NON_REGRESSION | 1.9205 E-2 |
| ϵ_{xx} | O | NON_REGRESSION | 4.2848 E-2 |
| ϵ_{xy} | O | NON_REGRESSION | 1.9203 E-2 |

8 Modélisation F

8.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée est 3D .



Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

- DDL_IMPO: (NOEUD: N04, DX: 0., DY:0.)
DDL_IMPO: (NOEUD: N08, DX: 0., DY:0., DZ:0.)
DDL_IMPO: (NOEUD: N02, DX: 0.)
DDL_IMPO: (NOEUD: N06, DX: 0.)
- des forces surfaciques imposées (mot clé FORCE_FACE) sur les faces (mailles de peau) (1,5,6), (1,2,6), (1,5,7), (1,3,7), (3,4,7), (4,7,8), (2,4,6) et (4,6,8).

8.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8

Nombre de mailles et types : 6 TETRA4 et 8 TRIA3 (faces)

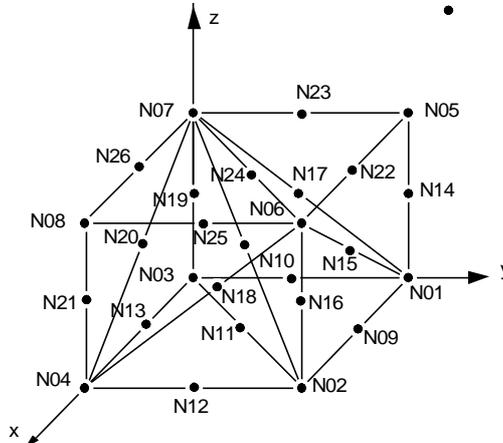
8.3 Grandeurs testées et résultats

| Identification | Instants | Type de Référence | Référence |
|-----------------|----------|-------------------|--------------|
| σ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 151.2 |
| σ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 93.1 |
| ϵ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 1.48297 E-2 |
| ϵ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 1.36014 E-2 |
| χ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 1.82640 E+1 |
| χ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 1.68688 E+1 |
| χ_{yy} | A | NON_REGRESSION | -0.91320 E+1 |
| ϵ_{xx} | B | NON_REGRESSION | 4.0444 E-2 |
| ϵ_{xy} | B | NON_REGRESSION | 1.9917 E-2 |
| ϵ_{xx} | C | NON_REGRESSION | 4.4177 E-2 |
| ϵ_{xy} | C | NON_REGRESSION | 1.9205 E-2 |
| ϵ_{xx} | O | NON_REGRESSION | 4.2848 E-2 |
| ϵ_{xy} | O | NON_REGRESSION | 1.9203 E-2 |

9 Modélisation G

9.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée est 3D .



Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

- DDL_IMPO: (NOEUD: N04, DX: 0., DY:0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N08, DX: 0., DY:0., DZ:0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N02, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N06, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N12, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N16, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N18, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N21, DX: 0.)
- DDL_IMPO: (NOEUD: N25, DX: 0.)
- des forces surfaciques imposées (mot clé FORCE_FACE) sur les faces (mailles de peau)
 - (1,14,5,22,6,15), (1,9,2,16,6,15), (1,14,5,23,7,17), (1,10,3,19,7,17),
 - (3,13,4,20,7,19), (4,20,7,26,8,21), (2,12,4,18,6,16) et (4,18,6,25,8,21).

9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 26

Nombre de mailles et types : 6 TETRA10 et 8 TRIA6 (faces)

9.3 Grandeurs testées et résultats

| Identification | Instants | Type de Référence | Référence |
|-----------------|----------|-------------------|--------------|
| σ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 151.2 |
| σ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 93.1 |
| ϵ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 1.48297 E-2 |
| ϵ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 1.36014 E-2 |
| χ_{xx} | A | NON_REGRESSION | 1.82640 E+1 |
| χ_{xy} | A | NON_REGRESSION | 1.68688 E+1 |
| χ_{yy} | A | NON_REGRESSION | -0.91320 E+1 |
| ϵ_{xx} | B | NON_REGRESSION | 4.0444 E-2 |
| ϵ_{xy} | B | NON_REGRESSION | 1.9917 E-2 |
| ϵ_{xx} | C | NON_REGRESSION | 4.4177 E-2 |
| ϵ_{xy} | C | NON_REGRESSION | 1.9205 E-2 |
| ϵ_{xx} | O | NON_REGRESSION | 4.2848 E-2 |
| ϵ_{xy} | O | NON_REGRESSION | 1.9203 E-2 |

10 Synthèse des résultats

Les résultats sont identiques quel que soit le type d'élément choisi. Les résultats sont proches de la solution de référence puisque les écarts sont globalement inférieurs à 1.52% .