

## SSNV144 - Coude en flexion en grands déplacements

---

### Résumé :

Ce test valide la modélisation des phénomènes de flexion de coque en grands déplacements dans le domaine élastique ou élastoplastique : un coude de tuyauterie, prolongé par des tuyaux droits est soumis à une flexion dans son plan. La tuyauterie est épaisse (de dimensions semblables aux coudes des circuits primaires). La solution de référence est numérique : elle est obtenue avec *Code\_Aster* à l'aide d'un maillage 3D du coude.

La modélisation est effectuée avec des éléments COQUE\_3D en grands déplacements ou en élastoplasticité.

## 1 Problème de référence

---

Le coude a pour rayon de courbure :  $R_c = 1.25\text{m}$

La section tubulaire a pour rayon moyen  $R = 395.5\text{mm}$  et pour épaisseur  $e = 77\text{mm}$ .

### 1.1 Propriétés des matériaux

Le matériau est élastoplastique avec écrouissage linéaire isotrope.

$$E = 2.E11 \text{ Pa}$$

$$\nu = 0.3$$

Limite d'élasticité  $SIGY = 200.10^6 \text{ Pa}$

Module d'écrouissage  $D - SIGM - EPSI = 2.10^{10} \text{ Pa}$

### 1.2 Conditions aux limites et chargements

Encastrement en  $A$  (correspondant à la section de tuyauterie nommée *CERCLE1*).

Moment  $MZ$  imposé en  $D$  (correspondant à *CERCLE2*) croissant jusqu'à :

$$\text{Incrément 1} \quad Mz = 308670215.2 \text{ Nm}$$

Dans le cas du calcul en grands déplacement,  $Mz$  est atteint en 10 incréments égaux

### 1.3 Conditions initiales

Sans objet.

## 2 Solution de référence

### 2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

En élasticité linéaire, cf [V6.02.117] on effectue une comparaison à d'autres résultats numériques obtenus avec *Code\_Aster* sur un maillage 3D du coude et des parties droites, reliées aux extrémités à des poutres droites. Ce maillage 3D comporte 1024 mailles HEXA20. Une modélisation COQUE\_3D donne des résultats proches.

### 2.2 Résultats de référence

Pour un moment appliqué  $M_z$  en  $D$ , le déplacement  $DY$  du même point  $D$  vaut :

| Moment      | $DY$ point $D$ ( $m$ ) (3D) | $DY$ point $D$ ( $m$ ) (COQUE_3D) |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 3.08670D+08 | 1.09349D-02                 | 1.08875D-02                       |

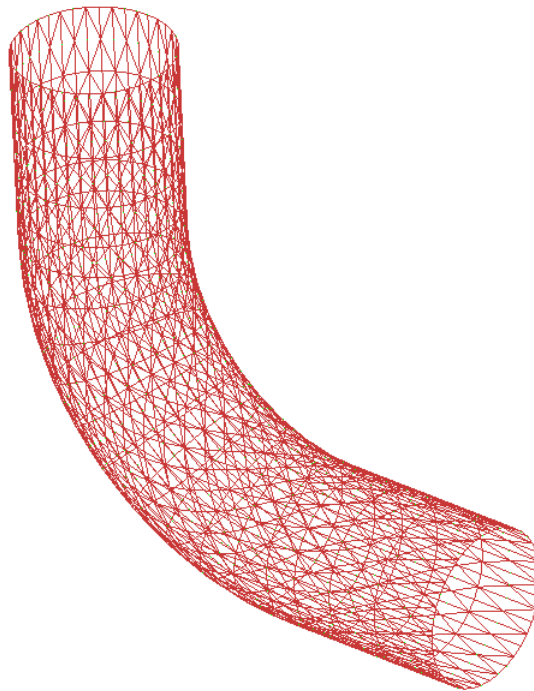
### 2.3 Incertitude sur la solution

Du fait que la solution de référence est numérique, on peut évaluer la précision d'après [§2.2] à 2% par comparaison des solutions 3D et COQUE\_3D.

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

COQUE\_3D



### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1480

Nombre de mailles et type : 360 QUAD9

### 3.3 Grandeurs testées et résultats de la modélisation A

Pour comparer les résultats du calcul élastique linéaire ( MECA\_STATIQUE ) avec la solution de référence, on compare les déplacements de 4 nœuds de la section du tube correspondant au point *D* ( CERCLE2 ).

$$\frac{\text{Incrément de charge} \quad DY \text{ du point } D}{Mz = 3.08670D + 06Nm \quad DY (m)}$$

Calcul linéaire :

| Emplacement | Valeur à tester | Type de test   | Tolérance  |
|-------------|-----------------|----------------|------------|
| N1157 - DX  | 6.51271E-04     | NON_REGRESSION | 6.49E-06 % |
| N1104 - DX  | 1.28830E-04     | NON_REGRESSION | 1.88E-04 % |
| N1109 - DX  | 4.01834E-04     | NON_REGRESSION | 1.61E-05 % |
| N1099 - DX  | 4.01834E-04     | NON_REGRESSION | 1.61E-05 % |
| N1157 - DY  | 1.08154E-03     | NON_REGRESSION | 9.44E-05 % |
| N1104 - DY  | 1.09424E-03     | NON_REGRESSION | 3.15E-04 % |
| N1109 - DY  | 1.08427E-03     | NON_REGRESSION | 2.92E-04 % |
| N1099 - DY  | 1.08427E-03     | NON_REGRESSION | 2.92E-04 % |
| N1157 - DZ  | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1.00E-08 % |
| N1104 - DZ  | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1.00E-08 % |
| N1109 - DZ  | 6.34660E-06     | NON_REGRESSION | 8.70E-06 % |
| N1099 - DZ  | -6.34660E-06    | NON_REGRESSION | 8.69E-06 % |
| N1157 - DRX | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1.00E-08 % |
| N1104 - DRX | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1.00E-08 % |
| N1109 - DRX | -8.06992E-06    | NON_REGRESSION | 7.78E-06 % |
| N1099 - DRX | 8.06992E-06     | NON_REGRESSION | 7.78E-06 % |
| N1157 - DRY | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1.00E-08 % |
| N1104 - DRY | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1.00E-08 % |
| N1109 - DRY | -4.85229E-05    | NON_REGRESSION | 5.35E-05 % |
| N1099 - DRY | 4.85229E-05     | NON_REGRESSION | 5.35E-05 % |
| N1157 - DRZ | 5.84655E-04     | NON_REGRESSION | 6.51E-05 % |
| N1104 - DRZ | 6.81747E-04     | NON_REGRESSION | 5.81E-05 % |
| N1109 - DRZ | -9.39844E-05    | NON_REGRESSION | 6.63E-06 % |
| N1099 - DRZ | -9.39844E-05    | NON_REGRESSION | 6.63E-06 % |

Calcul élastoplastique (non régression)

| Emplacement | Valeur à tester | Type de test   | Tolérance        |
|-------------|-----------------|----------------|------------------|
| N1157 – DX  | 6.51271E-04     | NON_REGRESSION | 0.160 %          |
| N1104 – DX  | 1.28830E-04     | NON_REGRESSION | 0.028 %          |
| N1109 – DX  | 4.01834E-04     | NON_REGRESSION | 0.149 %          |
| N1099 – DX  | 4.01834E-04     | NON_REGRESSION | 0.149 %          |
| N1157 – DY  | 1.08154E-03     | NON_REGRESSION | 0.209 %          |
| N1104 – DY  | 1.09424E-03     | NON_REGRESSION | 0.206 %          |
| N1109 – DY  | 1.08427E-03     | NON_REGRESSION | 0.208 %          |
| N1099 – DY  | 1.08427E-03     | NON_REGRESSION | 0.208 %          |
| N1157 – DZ  | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1. 00000 E- 08 % |
| N1104 – DZ  | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1. 00000 E- 08 % |
| N1109 – DZ  | 6.34660E-06     | NON_REGRESSION | 0.022 %          |
| N1099 – DZ  | -6.34660E-06    | NON_REGRESSION | 0.022 %          |
| N1157 – DRX | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1. 00000 E- 08 % |
| N1104 – DRX | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1. 00000 E- 08 % |
| N1109 – DRX | -8.06992E-06    | NON_REGRESSION | 0.382 %          |
| N1099 – DRX | 8.06992E-06     | NON_REGRESSION | 0.382 %          |
| N1157 – DRY | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1. 00000 E- 08 % |
| N1104 – DRY | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1. 00000 E- 08 % |
| N1109 – DRY | -4.85229E-05    | NON_REGRESSION | 0.533 %          |
| N1099 – DRY | 4.85229E-05     | NON_REGRESSION | 0.533 %          |
| N1157 – DRZ | 5.84655E-04     | NON_REGRESSION | 0.173 %          |
| N1104 – DRZ | 6.81747E-04     | NON_REGRESSION | 0.224 %          |
| N1109 – DRZ | -9.39844E-05    | NON_REGRESSION | 0.533 %          |
| N1099 – DRZ | -9.39844E-05    | NON_REGRESSION | 0.533 %          |

On teste aussi en non-régression le nombre total d'itérations de Newton:

| Paramètre             | Valeur à tester | Type de test   | Tolérance |
|-----------------------|-----------------|----------------|-----------|
| EVOL_NOLI – ITER_GLOB | 1               | NON_REGRESSION | 0         |

Calcul grands déplacements (non régression) :

| Emplacement | NUME_ORDRE | Valeur à tester | Type de test   | Tolérance        |
|-------------|------------|-----------------|----------------|------------------|
| N1157 - DX  | 10         | 6.51271E-04     | NON_REGRESSION | 0.16 1 %         |
| N1104 - DX  | 10         | 1.28830E-04     | NON_REGRESSION | 0.274 %          |
| N1109 - DX  | 10         | 4.01834E-04     | NON_REGRESSION | 0.169 %          |
| N1099 - DX  | 10         | 4.01834E-04     | NON_REGRESSION | 0.169 %          |
| N1157 - DY  | 10         | 1.08154E-03     | NON_REGRESSION | 0. 164 %         |
| N1104 - DY  | 10         | 1.09424E-03     | NON_REGRESSION | 0.115 %          |
| N1109 - DY  | 10         | 1.08427E-03     | NON_REGRESSION | 0.139 %          |
| N1099 - DY  | 10         | 1.08427E-03     | NON_REGRESSION | 0.139 %          |
| N1157 - DZ  | 10         | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1. 00000 E- 08 % |
| N1104 - DZ  | 10         | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1. 00000 E- 08 % |
| N1109 - DZ  | 10         | 6.34660E-06     | NON_REGRESSION | 4.398 %          |
| N1099 - DZ  | 10         | -6.34660E-06    | NON_REGRESSION | 4.398 %          |
| N1157 - DRX | 10         | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1. 00000 E- 08 % |
| N1104 - DRX | 10         | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1. 00000 E- 08 % |
| N1109 - DRX | 10         | -8.06992E-06    | NON_REGRESSION | 0.423 %          |
| N1099 - DRX | 10         | 8.06992E-06     | NON_REGRESSION | 0.423 %          |
| N1157 - DRY | 10         | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1. 00000 E- 08 % |
| N1104 - DRY | 10         | 0.00000E+00     | NON_REGRESSION | 1. 00000 E- 08 % |
| N1109 - DRY | 10         | -4.85229E-05    | NON_REGRESSION | 0.565 %          |
| N1099 - DRY | 10         | 4.85229E-05     | NON_REGRESSION | 0.565 %          |
| N1157 - DRZ | 10         | 5.84655E-04     | NON_REGRESSION | 0. 265 %         |
| N1104 - DRZ | 10         | 6.81747E-04     | NON_REGRESSION | 0.021 %          |
| N1109 - DRZ | 10         | -9.39844E-05    | NON_REGRESSION | 1.456 %          |
| N1099 - DRZ | 10         | -9.39844E-05    | NON_REGRESSION | 1.456 %          |

On teste aussi en non-régression le nombre total d'itérations de Newton:

| Paramètre             | Valeur à tester | Type de test   | Tolérance |
|-----------------------|-----------------|----------------|-----------|
| EVOL_NOLI - ITER_GLOB | 2               | NON_REGRESSION | 0         |

## 4 Synthèse des résultats

---

Ce test permet de valider les éléments COQUE\_3D en linéaire et non linéaire géométrique pour une géométrie réelle possédant deux courbures. Les résultats sont proches (différence inférieure à 1% ) de la référence numérique en élasticité.