

## HSNV138 – Tube sous pression : écriture de la matrice d'anisotropie de la loi META\_LEMA\_ANI en coordonnées cartésiennes

---

### Résumé :

Ce test constitue une validation numérique du modèle de comportement `META_LEMA_ANI` mécanique avec effet des transformations métallurgiques développé pour le matériau de la gaine des crayons combustibles, le Zircaloy.

Il s'agit d'un tube soumis à une pression interne, avec prise en compte de l'effet de fond et à une température uniforme et constante dans le temps (donc une seule phase en présence). On annule l'un des coefficients matériau de la loi afin d'obtenir le modèle de viscosité de Norton. Par ailleurs, on teste ici la possibilité de donner la matrice d'anisotropie de cette loi en coordonnées cartésiennes. On peut alors comparer la solution obtenue avec celle que donne la programmation de cette loi avec MFront, qui comporte exactement la même fonctionnalité.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

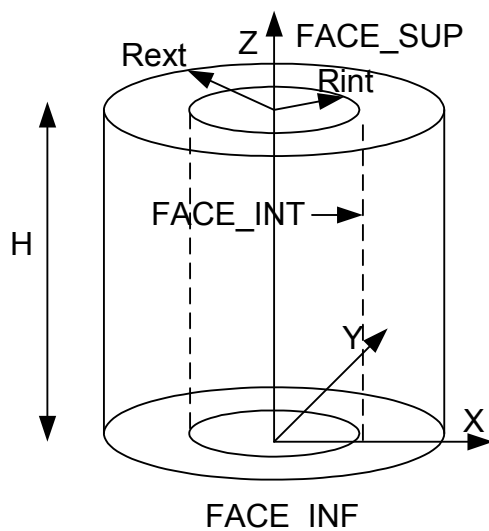


Figure 1.1-a : Géométrie du problème de référence

Il s'agit d'un cylindre de hauteur  $H=20\text{mm}$ , de rayon intérieur  $R_{int}=4.118\text{mm}$  et de rayon extérieur  $R_{ext}=4.746\text{mm}$ .

### 1.2 Propriétés de matériaux

Les propriétés matériaux sont décrites par les paramètres suivants :

**Propriétés thermiques :**

$$\rho C_p = 2000000 \text{ J.m}^{-3} . ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\lambda = 9999.9 \text{ W.m}^{-1} . ^\circ\text{C}^{-1}$$

**Propriétés métallurgiques :**

$$TDEQ = 809 ^\circ\text{C}$$

$$K = 1.135.10^{-2}$$

$$N = 2.187$$

$$TIC = 831 ^\circ\text{C}$$

$$T2C = 0. ^\circ\text{C}$$

$$QSR_K = 14614$$

$$AC = 1.58.10^{-4}$$

$$M = 4.7$$

$$TIR = 949,1 ^\circ\text{C}$$

$$T2R = 0. ^\circ\text{C}$$

$$AR = -5.725$$

$$BR = 0.05$$

**Propriétés mécaniques thermo-élastiques :**

$$\text{Module de YOUNG : } E = 80\,000 \text{ MPa}$$

Coefficient de Poisson :  $\nu = 0.35$

Coefficient de dilatation identique pour les phases chaude et froide  $F_{ALPHA} = 8.E-6 \text{ } ^\circ C^{-1}$

et  $C_{ALPHA} = 8.E-6 \text{ } ^\circ C^{-1}$

## Propriétés mécaniques de la loi META\_LEMA\_ANI :

### Paramètres liés à la viscosité

- Phase  $\alpha$  pure
  - $F1\_A = 2.39$
  - $F1\_M = 0.$
  - $F1\_N = 4.39$
  - $F1\_Q = 19922.8$
- Mélange  $\alpha + \beta$ 
  - $F2\_A = 0.22$
  - $F2\_M = 0.77 \text{ E-4}$
  - $F2\_N = 2.96$
  - $F2\_Q = 21023.7$
- Phase  $\beta$  pure
  - $C\_A = 9.36$
  - $C\_M = 0.99 \text{ E-4}$
  - $C\_N = 6.11$
  - $C\_Q = 6219$

### Coefficient de la matrice d'anisotropie dans le repère $(Ox, Oy, Oz)$

- Phase  $\alpha$ 
  - $F\_MXX\_XX = 0.4414$
  - $F\_MY\_YY = 0.714$
  - $F\_MZZ\_ZZ = 1$
  - $F\_MXY\_XY = 0.75$
  - $F\_MXZ\_XZ = 0.75$
  - $F\_MYZ\_YZ = 0.75$
- Phase  $\beta$ 
  - $C\_MXX\_XX = 1$
  - $C\_MY\_YY = 1$
  - $C\_MZZ\_ZZ = 1$
  - $C\_MXY\_XY = 0.75$
  - $C\_MXZ\_XZ = 0.75$
  - $C\_MYZ\_YZ = 0.75$

## 1.3 Conditions aux limites et chargements

**Partie thermique :** la température est imposée sur tout le cylindre à  $700 \text{ } ^\circ C$  pendant toute la durée du chargement mécanique de 0 à 100s .

### Partie mécanique :

La partie inférieure du cylindre ( FACE\_INF ) est bloquée en déplacement suivant  $z$  :  
 $UZ(x, y, 0) = 0$

Toute la partie supérieure du cylindre ( FACE\_SUP ) a un déplacement suivant  $z$  uniforme.

On impose une pression sur la face intérieure du tube ( FACE\_INT ) :

Temps ( s )	Pression ( MPa )
0	0.
1.1	7.5
100.	9.5

On tient compte de l'effet de fond sur la partie supérieure du tube ( FACE\_SUP ) :

Temps ( s )	Pression ( MPa )
0	0.
1.1	$-7.5 \times coef$
100.	$-9.5 \times coef$

Avec  $coef = (Rint \times Rint) / [(Rext \times Rext) - (Rint \times Rint)]$

## 1.4 Conditions initiales

Initialement, la température est de  $700^{\circ}C$  et le tube est composée de 100% de phase froide  $\alpha$ , soit :

$V1 = 1.0$

$V2 = 0.0$

$V3 = 20.$

$V4 = 0.$

$V1$  : proportion de la phase à froid  $\alpha$

$V2$  : proportion de la phase à froid  $\alpha$ , mélangé à la phase  $\beta$

$V3$  : températures aux nœuds

$V4$  : temps correspondant à la température de début ou de fin de la transformation à l'équilibre

## 2 Solution de référence

Les résultats de référence sont obtenus par un calcul sur le problème de référence défini ci-dessus en utilisant le comportement AnistropicLemaitreViscoplasticBehaviour.mfront (voir [V1.03.129]) .

Ce comportement est programmé en demandant à l'utilisateur de donner la matrice d'anisotropie de la loi en coordonnées cartésiennes.

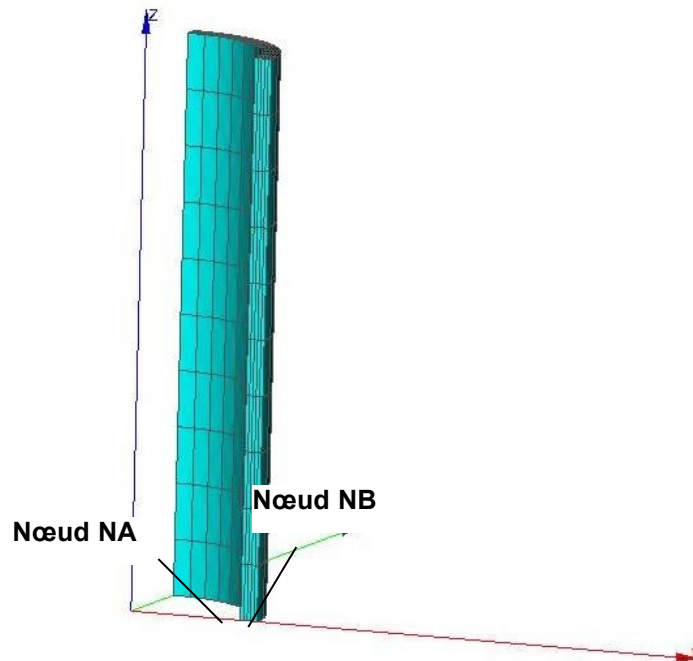
Ce calcul ressemble donc à celui du test MFRON04B, où l'on aurait omis la rotation et le décentrement du tube ainsi que l'appel à AFFE\_CARA\_ELEM et à la procédure ANGLE\_CYL (qui fournissait les occurrences du mot clé MASSIF de l'opérateur AFFE\_CARA\_ELEM permettant de définir le repère local de chaque maille).

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée dans le cas test est la suivante :

**Éléments 3D (HEXA20)**



**Figure 5.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation**

Découpage :     5 mailles HEXA20 selon l'axe  $r$  (repère cylindrique)  
                  10 mailles HEXA20 selon l'axe  $\theta$  (repère cylindrique)  
                  10 mailles HEXA20 selon l'axe  $z$

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 2651  
Nombre de mailles et types : 500 HEXA20, 400 QUAD8, 100 SEG3.  
Nœud  $NA$  :  $X = R_{int}$  ,  $Y = 0$  .  
Nœud  $NB$  :  $X = R_{ext}$  ,  $Y = 0$  .

### 3.3 Caractéristiques du chargement

Conditions aux limites :

```
FACE_IMPO = _F (GROUP_MA='FACE_INF', DNOR=0)  
              _F (GROUP_MA='FACE_X0', DX=0)  
              _F (GROUP_MA='FACE_Y0', DY=0)  
LIAISON_UNIF = _F (GROUP_MA='FACE_SUP', DDL='DZ')
```

Chargement :

```
PRES_REP = _F (GROUP_MA='FACE_INT' PRES=1.) ,
```

\_F(GROUP\_MA='FACE\_SUP' PRES=-coeff.),

avec  $coef = (Rint \times Rint) / [(Rext \times Rext) - (Rint \times Rint)]$

## 3.4 Grandeurs testées et résultats

Identification	Grandeur	Référence
t=100s NA	SIXX	-11.022
t=100s NA	SIZZ	33.94
t=100s NA	SIYY	59.678
t=100s NA	EPXX	-1.008E-02
t=100s NA	EPZZ	1.09E-04
t=100s NA	EPYY	1.028E-02
t=100s NB	SIXX	0.8979
t=100s NB	SIZZ	42.73
t=100s NB	SIYY	66.735
t=100s NB	EPXX	-7.603E-03
t=100s NB	EPZZ	1.09E-04
t=100s NB	EPYY	7.908E-03

---

## 4 Synthèse des résultats

---

Les valeurs de référence sont celles obtenues avec MFront. Les résultats obtenus avec Code\_Aster sont en très bon accord avec MFront.