

## HSNV134 – Modèle META\_LEMA\_ANI : tube sous pression et température constante

---

### 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. On peut alors comparer la solution obtenue avec le logiciel ZMAT, qui comporte exactement la même loi.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

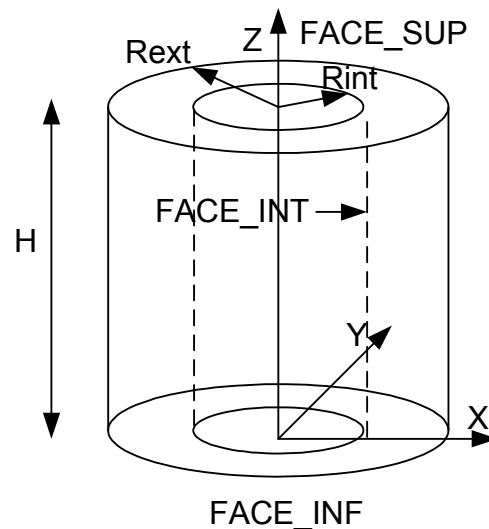


Figure 1.1-a : Géométrie du problème de référence

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 :**

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

$$K = 1.135 . 10^{-2}$$

$$N = 2.187$$

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

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

$$QSR_K = 14614$$

$$AC = 1.58 . 10^{-4}$$

$$M = 4.7$$

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

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

$$AR = -5.725$$

$$BR = 0.05$$

**Propriétés mécaniques thermo-élastiques :**

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 E-4  
 F2\_N = 2.96  
 F2\_Q = 21023.7

-Phase  $\beta$  pure

C\_A = 9.36  
 C\_M = 0.99 E-4  
 C\_N = 6.11  
 C\_Q = 6219

Coefficient de la matrice d'anisotropie dans le plan  $(r, \theta, z)$

-Phase  $\alpha$

F\_MRR\_RR = 0.4414  
 F\_MTT\_TT = 0.714  
 F\_MZZ\_ZZ = 1  
 F\_MRT\_RT = 0.75  
 F\_MRZ\_RZ = 0.75  
 F\_MTZ\_TZ = 0.75

-Phase  $\beta$

C\_MRR\_RR = 1  
 C\_MTT\_TT = 1  
 C\_MZZ\_ZZ = 1  
 C\_MRT\_RT = 0.75  
 C\_MRZ\_RZ = 0.75  
 C\_MTZ\_TZ = 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 avec le logiciel ZMAT qui comporte la loi équivalente avec le fichier matériau .33 suivant :

```

***material
*integration theta_method_a 1. 1.e-12 100

***behavior gen_evp
**elasticity
young 80000.
poisson 0.35
**potential gen_evp ev
*flow norton
K 253.5497
n 4.39
*criterion anisotropic orthotropic
c11 0.294267      c22 0.6666667      c33 0.476
c44 0.5          c55 0.5          c66 0.5
c12 -0.242467   c23 -0.4242      c31 -0.0518
*isotropic constant
R0 0.
***return
    
```

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée dans le cas-test est la suivante :

Eléments 2D 'AXIS' (QUA8)

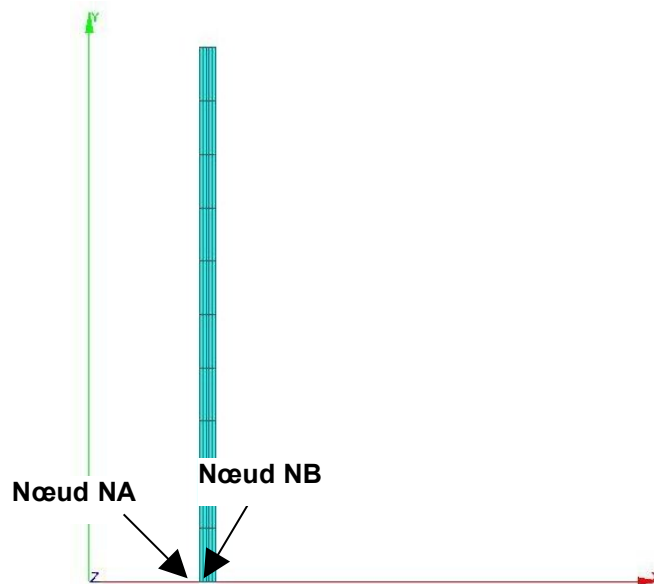


Figure 3.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation

Découpage : 5 mailles QUAD8 selon l'axe des  $x$   
10 mailles QUAD8 selon l'axe des  $y$

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 181  
Nombre de mailles et types : 50 QUAD8, 30 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)  
LIAISON_UNIF =_F (GROUP_MA='FACE_SUP', DDL='DY')
```

Chargement :

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

avec  $coef = (R_{int} \times R_{int}) / [(R_{ext} \times R_{ext}) - (R_{int} \times R_{int})]$

## 3.4 Grandeurs testées et résultats

Identification	Grandeur	Référence
t=100s NA	SIXX	-9.442
t=100s NA	SIZZ	60.226
t=100s NA	SIYY	26.795
t=100s NA	EPXX	-9.49597E-03
t=100s NA	EPZZ	1.35633E-02
t=100s NA	EPYY	-3.7769E-03
t=100s NB	SIXX	3.28215E-02
t=100s NB	SIZZ	64.199
t=100s NB	SIYY	30.771
t=100s NB	EPXX	-6.58609E-03
t=100s NB	EPZZ	1.07189E-02
t=100s NB	EPYY	-3.7769E-03

## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée dans le cas test est la suivante :

**Eléments 3D (HEXA20)**

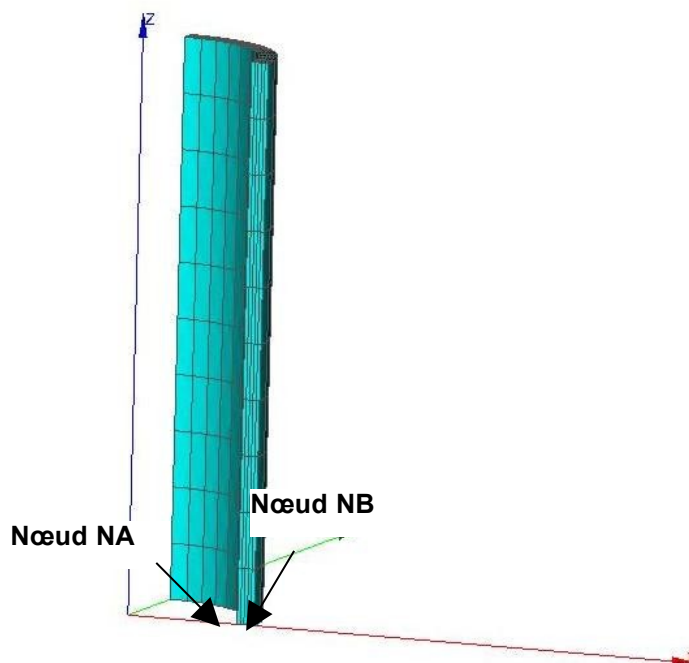


Figure 5.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation

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  $z$

### 4.2 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  $NB$  :  $X = R_{ext}$ ,  $Y = 0$ .

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

## 4.4 Grandeurs testées et résultats

Identification	Grandeur	Référence
t=100s NA	SIXX	-9.4420
t=100s NA	SIZZ	60.226
t=100s NA	SIYY	26.795
t=100s NA	EPXX	-9.49597E-03
t=100s NA	EPZZ	1.35633E-02
t=100s NA	EPYY	-3.7769E-03
t=100s NB	SIXX	3.28215E-02
t=100s NB	SIZZ	64.199
t=100s NB	SIYY	30.771
t=100s NB	EPXX	-6.58609E-03
t=100s NB	EPZZ	1.07189E-02
t=100s NB	EPYY	-3.7769E-03

## 4.5 Commentaires

Les valeurs testées en 3D sont celles calculées dans le repère cylindrique.

## 5 Conclusion

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