

---

## HSNV135 – Modèle META\_LEMA\_ANI : tube sous pression et température variable

---

### 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 variable dans le temps (donc plusieurs phases en présence). Ce cas-test est identique au HSNV134 modélisation A, excepté qu'ici, il se produit un changement de phase.

Il n'y a pas de solution analytique. Il s'agit d'un cas-test de non régression.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

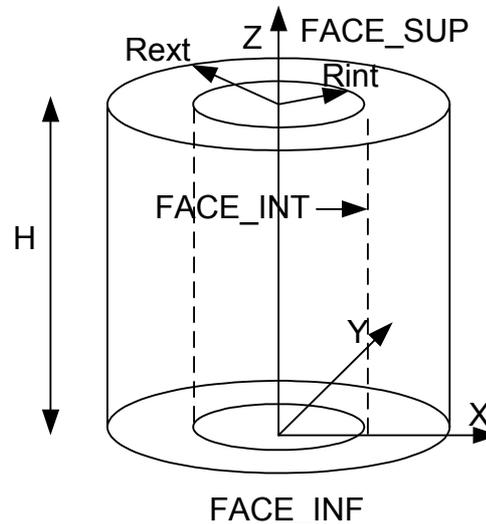


Figure 1.1-a : Géométrie du problème de référence

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 :**

$$\rho_{Cp} = 2000000 \text{ J.m}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$$

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

**Propriétés métallurgiques :**

$$TDEQ = 809 \text{ °C}$$

$$K = 1.135 \cdot 10^{-2}$$

$$N = 2.187$$

$$TIC = 831 \text{ °C}$$

$$T2C = 0 \text{ °C}$$

$$QSR\_K = 14614$$

$$AC = 1.58 \cdot 10^{-4}$$

$$M = 4.7$$

$$TIR = 949,1 \text{ °C}$$

$$T2R = 0 \text{ °C}$$

$$AR = -5.725$$

$$BR = 0.05$$

**Propriétés mécaniques thermo-élastiques :**

Module d'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 = 0.07
  - 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\_MR\_Z\_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 :

On impose une température uniforme sur tout le tube :

Temps ( s )	Température ( °C )
-1.	20.
0.	609.
36.1	609.
44.	799.7
46.	838.67
48.	876.52
49.2	894.5

### 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 )
-1.0	0.
0.	0.
36.1	6.74
49.2	6.74

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

Temps ( s )	Pression ( MPa )
-1.0	0.
0.	0.
36.1	6.74*coeff
49.2	6.74*coeff

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

## 1.4 Conditions initiales

Initialement, la température est de  $20^\circ C$  et le tube est composée de 100% de phase froide  $\alpha$   
. soit :

$$V1 = 1.0$$

$$V2 = 0.0$$

$$V3 = 20.$$

$$V4 = -1.0$$

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

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

Il n'existe pas de solution de référence. Il s'agit d'un test de non regression.

### 3 Modélisation A

#### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée dans le cas test est la suivante :

Eléments 2D 'AXIS' (QUA8)

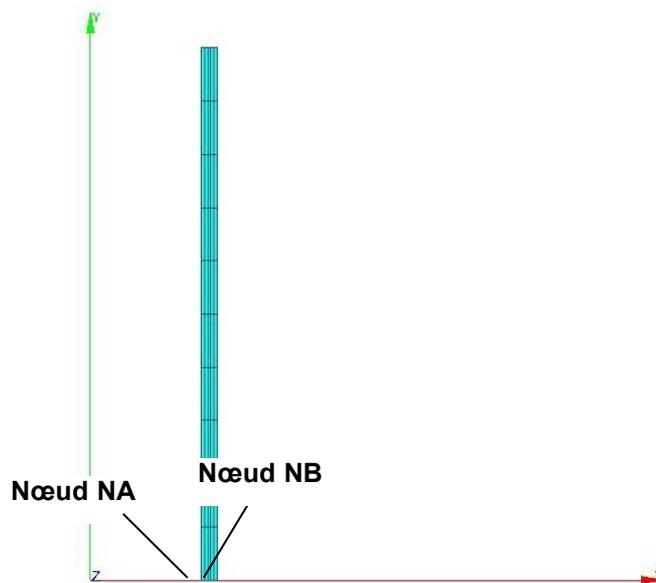


Figure 3.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation

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=-coeff.),
```

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

## 3.4 Grandeurs testées et résultats

Identification	Grandeur	Aster
$t = 49.2s$ NA	SIXX	-6.61
$t = 49.2s$ NA	SIZZ	43.449
$t = 49.2s$ NA	SIYY	19.30
$t = 49.2s$ NA	EPXX	-1.72E-02
$t = 49.2s$ NA	EPZZ	4.055E-02
$t = 49.2s$ NA	EPYY	-2.106E-03