

## 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. Les résultats sont soit comparés à ceux obtenus par l'opérateur CALC\_META, soit testé en non régression.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

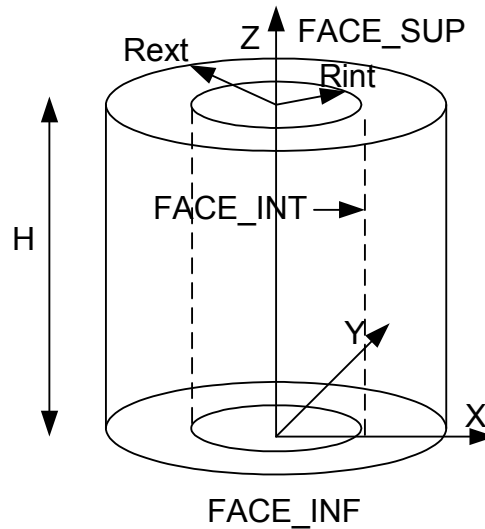


Figure 1.1-a : Géométrie du problème de référence

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 :  
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 :

- Module de Young :  $E = 80000 \text{ MPa}$
- Coefficient de Poisson :  $NU = 0.35$

- Coefficient de dilatation identique pour les phases chaude et froide  
 $F_{ALPHA} = 8,0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  et  $C_{ALPHA} = 8,0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

## 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
- Paramètres liés à la viscosité, m élange  $\alpha + \beta$   
F2\_A = 0.22  
F2\_M = 0.77 E-4  
F2\_N = 2.96  
F2\_Q = 21023.7
- Paramètres liés à la viscosité, phase  $\beta$  pure  
C\_A = 9.36  
C\_M = 0.99 E-4  
C\_N = 6.11  
C\_Q = 6219
- Coefficients 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
- Coefficients de la matrice d'anisotropie dans le plan  $(r, \theta, z)$ , 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  $coef = (Rint \times Rint) / [(Rext \times Rext) - (Rint \times Rint)]$

## 2 Solution de référence

---

Il n'existe pas de solution de référence. Les résultats sont soit comparés à ceux obtenus par l'opérateur CALC\_META, soit testé en non régression.

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée dans le cas test est la suivante :

Éléments 2D 'AXIS' (QUA8)

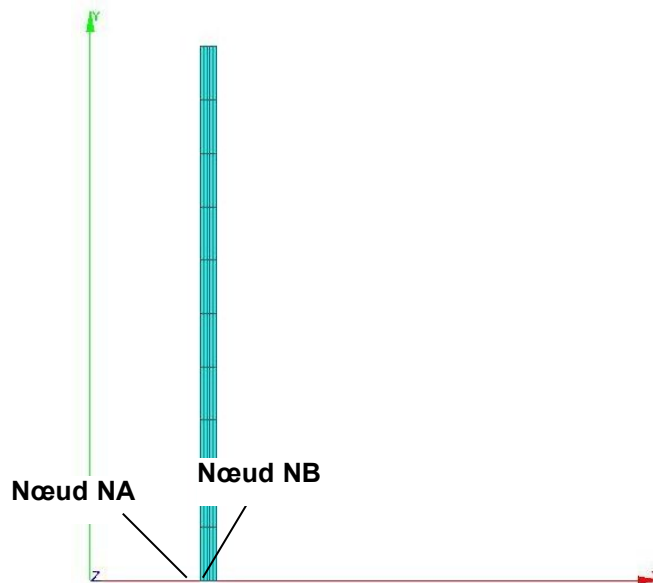


Figure 3.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation

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 Grandeurs testées et résultats

Identification	Grandeur	Référence
$t = 49.2s$ $NA$	SIXX	Non régression
$t = 49.2s$ $NA$	SIZZ	Non régression
$t = 49.2s$ $NA$	SIYY	Non régression
$t = 49.2s$ $NA$	EPXX	Non régression
$t = 49.2s$ $NA$	EPZZ	Non régression
$t = 49.2s$ $NA$	EPYY	Non régression
$t = 49.2s$ $NA$	Déformation visqueuse cumulée $v5$	Non régression

$t = 49.2\text{ s}$	NA	Contrainte équivalente de Hill v8	Non régression
$t = 49.2\text{ s}$	NA	Contrainte visqueuse de la phase alpha v9	Non régression
$t = 49.2\text{ s}$	NA	Contrainte visqueuse de la phase alpha/bêta v10	Non régression
$t = 49.2\text{ s}$	NA	Contrainte visqueuse de la phase bêta v11	Non régression

Identification	Grandeur	Référence	Valeur de référence	
$t = 44.4\text{ s}$	NA	Proportion phase bêta v6	Analytique	0.0
$t = 47.6\text{ s}$	NA	Proportion phase bêta v6	Autre aster	2.1496E-02
$t = 49.2\text{ s}$	NA	Proportion phase bêta v6	Autre aster	1.0664E-01

Identification	Grandeur	Référence	Valeur de référence	
$t = 36.1\text{ s}$	NA	Déformation thermique v7	Analytique	0.004712
$t = 46.0\text{ s}$	NA	Déformation thermique v7	Analytique	0.00654936
$t = 49.2\text{ s}$	NA	Déformation thermique v7	Analytique	0.006996

Identification	Grandeur	Référence	Valeur de référence	
$t = 46.0\text{ s}$	NA	Indicateur de changement de phase v12	Autre aster	0.0
$t = 49.2\text{ s}$	NA	Indicateur de changement de phase v12	Autre aster	1.0
$t = 49.2\text{ s}$	NA	Indicateur de changement de phase v12	Autre aster	1.0

Identification	Grandeur	Référence	Valeur de référence	
$t = 44.4\text{ s}$	NA	Instant où T=TDEQ v12	Autre aster	0.0
$t = 44.8\text{ s}$	NA	Instant où T=TDEQ v12	Autre aster	4.4477E+01
$t = 49.2\text{ s}$	NA	Instant où T=TDEQ v12	Autre aster	4.4477E+01

Identification	Grandeur	Référence	Valeur de référence	
$t = 44.4\text{ s}$	NA	Instant où T=TFEQ v13	Analytique	0.0
$t = 44.8\text{ s}$	NA	Instant où T=TFEQ v13	Analytique	0.0
$t = 49.2\text{ s}$	NA	Instant où T=TFEQ v13	Analytique	0.0