

## HSNV126 - Thermo-métallo-mécanique en traction simple

---

### Résumé :

Ce test illustre un calcul mécanique avec écrouissage non linéaire sur un matériau (Zircaloy) subissant des transformations métallurgiques.

Concrètement, dans un premier temps, l'opérateur `CALC_META` calcule l'évolution métallurgique associée à une histoire thermique donnée. Cette évolution métallurgique est ensuite fournie à `STAT_NON_LINE` qui va effectuer un calcul mécanique en prenant en compte les phases métallurgiques (en plus de chargements mécaniques). Le matériau du calcul mécanique est défini avec `ELAS_META_FO` et `META_TRACTION`.

## 1 Problème de référence

Il s'agit d'un barreau cylindrique en fluage.

### 1.1 Géométrie

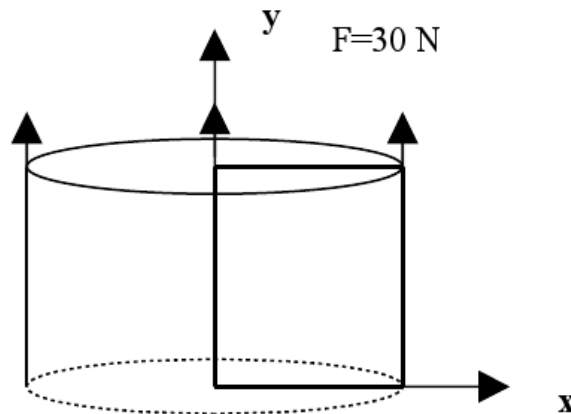


Figure 1.1-a : Géométrie et chargement du problème de référence

Il s'agit d'un cylindre de hauteur  $H=1000\text{ m}$ , et de rayon  $R=1000\text{ m}$ .  
Le carré en gras correspond à la modélisation axisymétrique utilisée au §3.

### 1.2 Propriétés de matériaux

Les propriétés matériaux sont décrites par les paramètres suivants :

#### Pour le calcul thermo-métallique

(Acier 16MND5)

$$\rho C_p = 5260000\text{ J.m}^{-3}.\text{°C}^{-1}$$

$$\lambda = 33.5\text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$$

Coefficients pour la métallurgie :

TRC "standard"

$$AR3 = 830\text{ °C}, \alpha = -0.0306$$

$$MS0 = 400\text{ °C}, AC1 = 724\text{ °C}, AC3 = 846\text{ °C}$$

$$\tau_1 = 0.034, \tau_3 = 0.034$$

#### Pour le calcul thermo-métallo-mécanique

- Module d'Young:  $E = 200000\text{ Pa}$
- Coefficient de Poisson :  $\nu = 0.3$

**Définition des caractéristiques élastiques, de dilatation et de limites d'élasticité pour la modélisation d'un matériau subissant des transformations métallurgiques :**

- $T_{ref} = 20^\circ C$
  - Coefficient de dilatation thermique moyen des phases froides :  
 $\alpha_f(T) = 10 E^{-6}$
  - Coefficient de dilatation thermique moyen de la phase chaude :  
 $\alpha_y(T) = 0.0001$
  - Température de définition du coefficient de dilatation :  
 $T_y = 20^\circ C$
  - Choix de la phase métallurgique de référence : froide
  - Déformation de la phase non de référence par rapport à la phase de référence à la température  $T_{ref}$  :  
 $\Delta \varepsilon = 1 E^{-2}$
  - Limite d'élasticité de la phase froide 1 pour un comportement plastique :  
 $F\_sigm\_f(T) = 100$
  - Limite d'élasticité de la phase froide 2 pour un comportement plastique :  
 $F\_sigm\_f(T) = 100$
  - Limite d'élasticité de la phase froide 3 pour un comportement plastique :  
 $F\_sigm\_f(T) = 100$
  - Limite d'élasticité de la phase froide 4 pour un comportement plastique :  
 $F\_sigm\_f(T) = 100$
  - Limite d'élasticité de la phase chaude pour un comportement plastique :  
 $F\_sigm\_f(T) = 100$
- Fonction utilisée pour la loi de mélange sur la limite d'élasticité du matériau multiphasé pour un comportement visqueux :

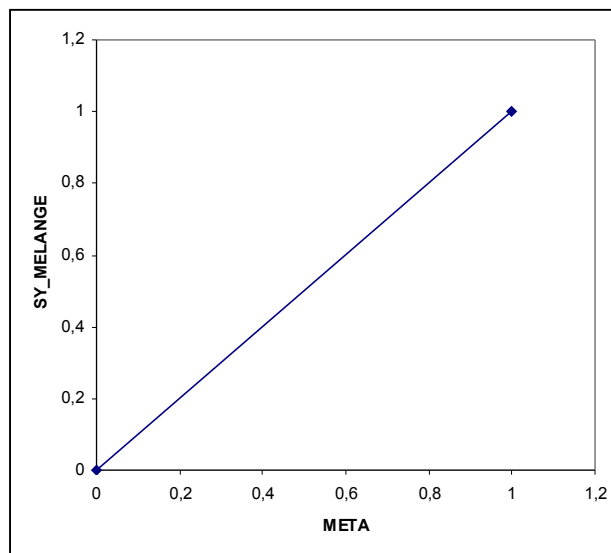


Figure 1.2-a : Loi de mélange

**Définition des 5 courbes de traction utilisées dans la modélisation d'écroissage isotrope non linéaire d'un matériau subissant des changements de phases métallurgiques :**

Courbe écroissage isotrope  $R$  en fonction de la déformation plastique cumulée  $p$  pour la phase froide 1

à 20 °C :

--	--

à 120 °C :

0,0105		
0,1125		
0,1815		

Courbe écroissage isotrope  $R$  en fonction de la déformation plastique cumulée  $p$  pour la phase froide 2 :

idem précédente

Courbe écroissage isotrope  $R$  en fonction de la déformation plastique cumulée  $p$  pour la phase froide 3 :

idem précédente

Courbe écroissage isotrope  $R$  en fonction de la déformation plastique cumulée  $p$  pour la phase froide 4 :

idem précédente

Courbe écroissage isotrope  $R$  en fonction de la déformation plastique cumulée  $p$  pour la phase chaude :

idem précédente

## 1.3 Conditions aux limites et chargements

La base du cylindre est bloquée suivant  $y$  :

$U_y=0$  sur la base du cylindre.

Une force de traction  $F=30\text{ N}$  est imposée sur le haut du cylindre.

La température est imposée sur tout le cylindre pour :

$T(x, y, t)=120\text{ °C}$

## 1.4 Conditions initiales

Les variables suivantes sont initialisées :

$$Z_f(x, y, 0)=0.7$$

$$Z_p(x, y, 0)=0.0$$

$$Z_b(x, y, 0)=0.3$$

$$Z_m(x, y, 0)=0.0$$

$$d(x, y, 0)=0.0$$

## 2 Solution de référence

---

### 2.1 Résultats de référence

Les résultats ont été obtenus avec une version antérieure d'aster. Il s'agit d'un test de non-régression.

### 2.2 Incertitude sur la solution par rapport au résultat de non-régression

L'incertitude est de  $1 E^{-10}\%$ .

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée dans le cas test est la suivante :

Eléments 2D 'AXIS' (QUA8)

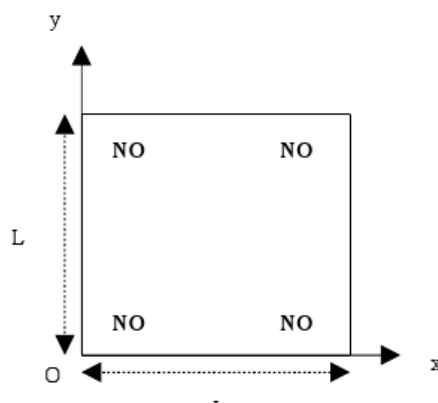


Figure 3.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation

Découpage : 1 mailles QUAD4 selon l'axe des  $x$   
1 mailles QUAD4 selon l'axe des  $y$

Conditions aux limites :  $U_y=0$  sur  $NO1$  et  $NO2$   
 $F=30N$  sur  $NO3$  ET  $NO4$

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4  
Nombre de mailles et types : 1 QUAD4, 4 SEG2.

### 3.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Grandeur	Référence	Aster	% différence
$t=1.1s$ $NO3$	$SIYY$	60.	59.99	-1.28E-12
$t=1.4s$ $NO3$	$SIYY$	142.	142.	-1.62E-12
$t=2.0s$ $NO3$	$SIYY$	218.	218	-1.14E-13
$t=1.1s$ $NO3$	$DY$	4.	3.999	-6.04E-14
$t=1.4s$ $NO3$	$DY$	13.	13.	-2.52E-13
$t=2.0s$ $NO3$	$DY$	31.	31.	3.55E-15
$t=1.1s$ $NO3$	$VI$	0.	0	0%
$t=1.4s$ $NO3$	$VI$	4.9E-3	4.899E-3	-3.79E-12%
$t=2.0s$ $NO3$	$VI$	1.91E-2	1.91E-2	-2.54E-13%
$t=1.1s$ $NO3$	$V7$	0.	0	0%
$t=1.4s$ $NO3$	$V7$	41.1	41.099	-3.96E-12%
$t=2.0s$ $NO3$	$V7$	117.58	117.58	-1.72E-12%

## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée dans le cas test est la suivante :

Eléments 2D 'AXIS' (QUA8)

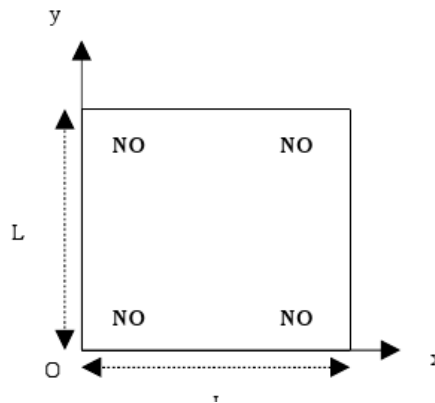


Figure 3.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation

Découpage : 1 mailles QUAD4 selon l'axe des  $x$   
1 mailles QUAD4 selon l'axe des  $y$

Conditions aux limites :  $U_y=0$  sur  $NO1$  et  $NO2$   
 $F=30N$  sur  $NO3$  ET  $NO4$

La modélisation B est l'exact équivalent de la modélisation A en prenant en compte des grandes déformations via le mot clé `DEFORMATION='SIMO_MIEHE'`.

### 4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4  
Nombre de mailles et types : 1 QUAD4, 4 SEG2.

### 4.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Grandeur	Référence	Aster	% différence
$t=1.1s$ $NO3$	$SIYY$	59.72	5.9724891293860E+01	0.005
$t=1.4s$ $NO3$	$SIYY$	141.	1.4099749961110E+02	-0.003
$t=2.0s$ $NO3$	$SIYY$	215.66	2.1566273036229E+02	0.003
$t=1.1s$ $NO3$	$DY$	4.	3.9975135788390	-0.002
$t=1.4s$ $NO3$	$DY$	13.	1.2997513578839E+01	-0.002
$t=2.0s$ $NO3$	$DY$	31.	3.0997513578839E+01	-0.002
$t=1.1s$ $NO3$	$VI$	0.	0.	0
$t=1.4s$ $NO3$	$VI$	4.8787000000000E-03	4.8787703363334E-03	0.001
$t=2.0s$ $NO3$	$VI$	1.8866000000000E-02	1.8866871352412E-02	0.005
$t=1.1s$ $NO3$	$V7$	0.	0.	0
$t=1.4s$ $NO3$	$V7$	41.82	4.1818031454286E+01	-0.005
$t=2.0s$ $NO3$	$V7$	117.2	1.1724097649622E+02	0.035

## 5 Commentaires

---

Ce cas test de non-régression permet de vérifier la cohérence de Code\_Aster d'une version sur l'autre en ce qui concerne la métallurgie.