

**Manuel de Validation****Fascicule V7.22 : Thermo-mécanique statique non linéaire des structures volumiques****Document V7.22.126**

# 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

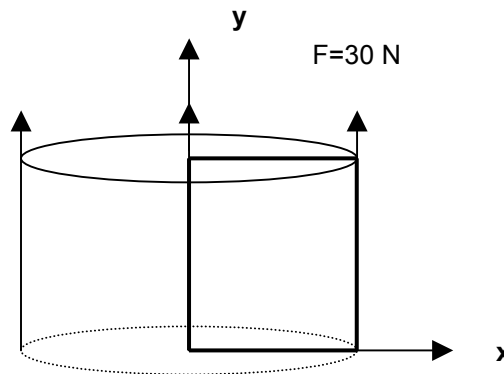


Figure 1.1-a : Géométrie et chargement du problème de référence

Il s'agit d'un cylindre de hauteur  $H = 1000$  m, et de rayon  $R = 1000$  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:  $E = 200000$  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 :

- $T_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
- Coefficient de dilatation thermique moyen des phases froides :
- $\alpha_f(T) = 10^{-6}$
- Coefficient de dilatation thermique moyen de la phase chaude :
- $\alpha_\gamma(T) = 0.0001$
- Température de définition du coefficient de dilatation :
- $T_\gamma = 20^{\circ}\text{C}$
- 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  $T_{ref}$  :  

$$\Delta\varepsilon = 10^{-2}$$
- Limite d'élasticité de la phase froide 1 pour un comportement plastique :  

$$F_{\sigma_f}(T) = 100$$
- Limite d'élasticité de la phase froide 2 pour un comportement plastique :  

$$F_{\sigma_f}(T) = 100$$
- Limite d'élasticité de la phase froide 3 pour un comportement plastique :  

$$F_{\sigma_f}(T) = 100$$
- Limite d'élasticité de la phase froide 4 pour un comportement plastique :  

$$F_{\sigma_f}(T) = 100$$
- Limite d'élasticité de la phase chaude pour un comportement plastique :  

$$F_{\sigma_f}(T) = 100$$
- Fonction utilisée pour la loi de mélange sur la limite d'élasticité du matériau multiphasé pour un comportement visqueux :

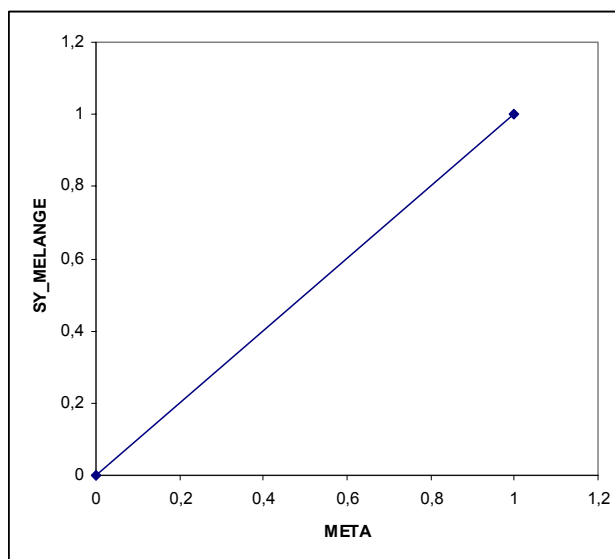


Figure 1.2-a : Loi de mélange

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

- Courbe écrouissage isotrope R en fonction de la déformation plastique cumulée p pour la phase froide 1 à 20 °C

0,99	250
------	-----

à 120°C

0,0105	90
0,032	160
0,064	220
0,1125	250
0,1815	270

- Courbe écrouissage isotrope R en fonction de la déformation plastique cumulée p pour la phase froide 2  
idem précédente
- Courbe écrouissage isotrope R en fonction de la déformation plastique cumulée p pour la phase froide 3  
idem précédente
- Courbe écrouissage isotrope R en fonction de la déformation plastique cumulée p pour la phase froide 4  
idem précédente
- Courbe écrouissage 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  $F=30$  N est imposée sur le haut du cylindre.

La température est imposée sur tout le cylindre pour :

$T(x,y,t) = 120^\circ\text{C}$

### 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  $10^{-10}$  %.

### 3 Modélisation A

#### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée dans le cas test est la suivante :

Eléments 2D 'AXIS' (QUA8)

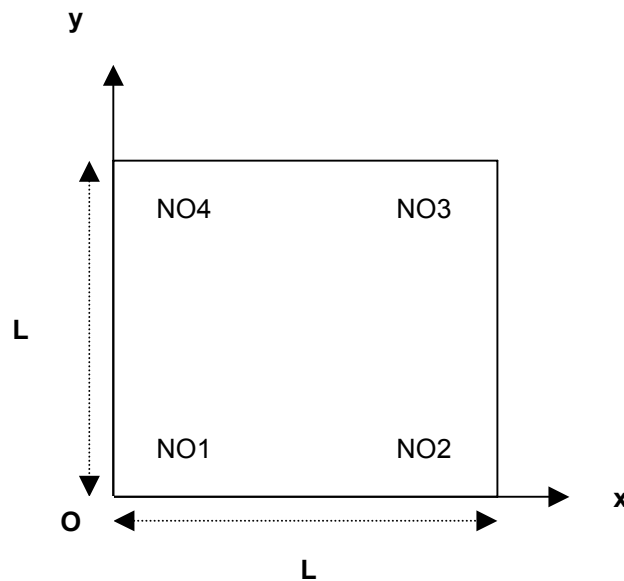


Figure 3.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation

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.



## 4 Résultats de la modélisation A

### 4.1 Fonctionnalités testées

#### Commandes

DEFI_TRC	HIST_EXP TEMP_MS	VALE SEUIL AKM BKM TPLM GRAIN_AUST	DREF A
DEFI_MATERIAU	THER  META_ACIER	RHO_CP LAMBDA  TRC AR3 ALPHA MS0 AC1 AC3 TAUX_1 TAUX_3	
CALC_META	ETAT_INIT COMP_INCR	META_INIT_ELNO RELATION	'ACIER'
DEFI_MATERIAU	ELAS_META_FO  META_TRACTION	E NU F_ALPHA C_ALPHA TEMP_DEF_ALPHA PHAS_REFE EPSF_EPSC_TREF F1_SY F2_SY F3_SY F4_SY C_SY SY_MELANGE SIGM_F1 SIGM_F2 SIGM_F3 SIGM_F4 SIGM_C	
AFFE_CHAR_MECA	MODELE TEMP_CALCULEE		
STAT_NON_LINE	MODELE CHAM_MATER EXCIT  COMP_INCR  INCREMENT NEWTON  CONVERGENCE	CHARGE FONC_MULT RELATION RELATION_KIT LIST_INST MATRICE REAC_ITER RESI_GLOB_RELA ITER_GLOB_MAXI	'META_P_INL' 'ACIER'      'TANGENTE'

## 4.2 Valeurs testées

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	V1	0.	0	0%
t=1.4s NO3	V1	4.9E-3	4.899E-3	-3.79E-12%
t=2.0s NO3	V1	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%



## 5 Résultats de la modélisation B

### 5.1 Fonctionnalités testées

#### Commandes

STAT_NON_LINE	MODELE	
	CHAM_MATER	
	EXCIT	CHARGE
		FONC_MULT
	COMP_INCR	RELATION 'META_P_INL'
		RELATION_KIT 'ACIER'
		DEFORMATION 'SIMO_MIEHE'
	INCREMENT	LIST_INST
	NEWTON	MATRICE 'TANGENTE'
		REAC_ITER
	CONVERGENCE	RESI_GLOB_RELA
		ITER_GLOB_MAXI

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'`.

### 5.2 Valeurs testées

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	V1	0.	0.	0
t=1.4s NO3	V1	4.8787000000000E-03	4.8787703363334E-03	0.001
t=2.0s NO3	V1	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

## 6 Commentaires

---

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