

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

---

### Résumé :

Ce test illustre un calcul mécanique avec écrouissage non linéaire sur un matériau de type Acier 16MND5 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

### 1.1 Géométrie

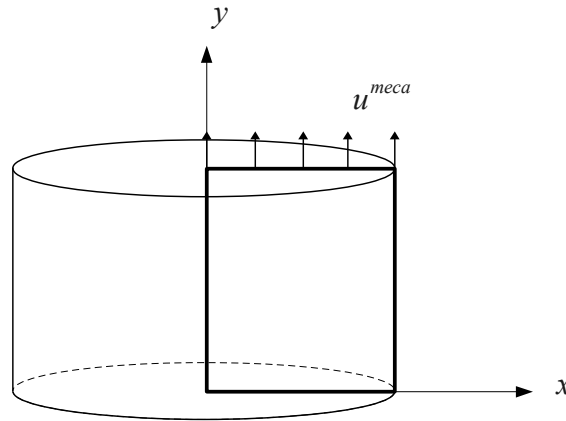


Figure 1.1-a : Géométrie et chargement du problème de référence

Il s'agit d'un cylindre de hauteur  $H = 1000 \text{ mm}$ , et de rayon  $R = 1000 \text{ mm}$ .  
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)
- $\rho C_p = 5.26E^{-3} \text{ J.mm}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$
- $\lambda = 33.5E^{-3} \text{ W.mm}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$

#### 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:  $E = 200000 \text{ MPa}$
- 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 :  $\alpha_y(T) = 10 E^{-5}$
- 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  $T_{ref}$  :  $\Delta \epsilon = 1 E^{-2}$
- Limite d'élasticité de la phase froide 1 pour un comportement plastique :  
 $F\_sigm\_f(T) = 100 MPa$
- Limite d'élasticité de la phase froide 2 pour un comportement plastique :  
 $F\_sigm\_f(T) = 100 MPa$
- Limite d'élasticité de la phase froide 3 pour un comportement plastique :  
 $F\_sigm\_f(T) = 100 MPa$
- Limite d'élasticité de la phase froide 4 pour un comportement plastique :  
 $F\_sigm\_f(T) = 100 MPa$
- Limite d'élasticité de la phase chaude pour un comportement plastique :  
 $F\_sigm\_f(T) = 100 MPa$
- Fonction utilisée pour la loi de mélange sur la limite d'élasticité du matériau multiphasé pour un comportement plastique :

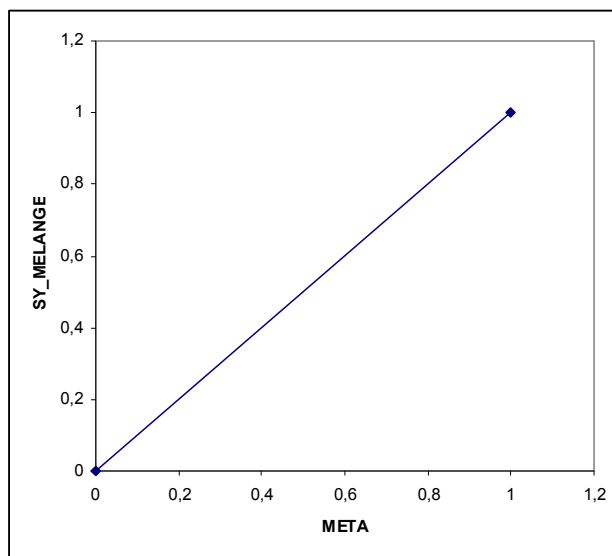


Figure 1.2-a : Loi de mélange

**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 :

$p$	$\sigma(Mpa)$
0.99	250

À 120°C :

$p$	$\sigma(MPa)$
0.0105	90
0.032	160
0.064	220
0.1125	250
0.1815	270

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

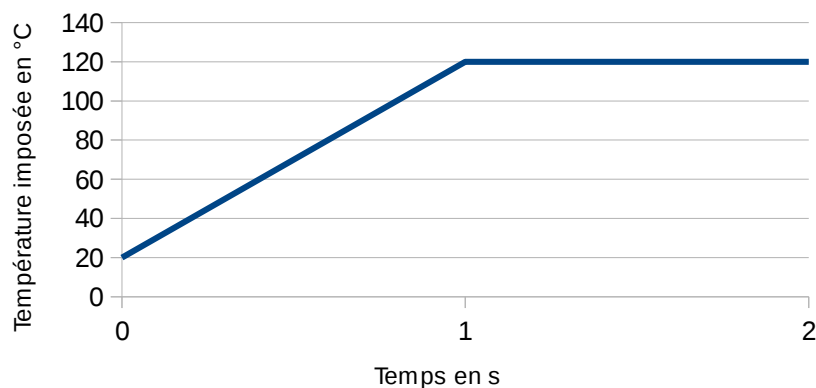
## 1.3 Conditions aux limites et chargements

La base du cylindre est bloquée suivant  $y$  :

$U_y=0$  sur la base du cylindre.

Un déplacement  $u^{meca}=30\text{ mm}$  est imposé sur le haut du cylindre.

La température est imposée sur tout le cylindre, tel que :



## 1.4 Conditions initiales

Température initiale :  $T(x, y, 0) = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

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  $1 E^{-4}\%$ .

### 3 Modélisation A

#### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 2D axisymétrique :

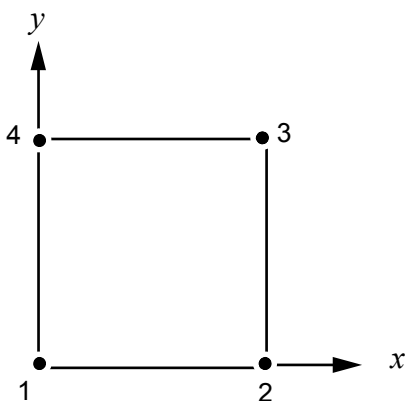


Figure 3.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation

Conditions aux limites :  $U_y=0$  sur *NO1* et *NO2*  
 $U_y=u^{meca}=30\text{ mm}$  sur *NO3* ET *NO4*

#### 3.2 Caractéristiques du maillage

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

#### 3.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Grandeur	Référence	Tolérance
$t=1.1\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>SIYY</i>	120.547945205	1.0E-4 %
$t=1.4\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>SIYY</i>	191.76201373	1.0E-4 %
$t=2.0\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>SIYY</i>	249.42791762	1.0E-4 %
$t=1.1\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>DY</i>	4.0	1.0E-4 %
$t=1.4\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>DY</i>	13.0	1.0E-4 %
$t=2.0\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>DY</i>	31.0	1.0E-4 %
$t=1.1\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>VI</i>	0.00239726027397	1.0E-4 %
$t=1.4\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>VI</i>	0.0110411899313	1.0E-4 %
$t=2.0\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>VI</i>	0.0287528604119	1.0E-4 %
$t=1.1\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>V7</i>	20.5479452055	1.0E-4 %
$t=1.4\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>V7</i>	91.76201373	1.0E-4 %
$t=2.0\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>V7</i>	149.42791762	1.0E-4 %
$t=1.1\text{s}$ <i>NO3</i>	$\epsilon^{th}$	0.001	1.0E-4 %
$t=1.1\text{s}$ <i>NO3</i>	$\epsilon_{yy}^{meca}$	0.003	1.0E-4 %
$t=1.4\text{s}$ <i>NO3</i>	$\epsilon_{yy}^{meca}$	0.012	1.0E-4 %
$t=2,0\text{s}$ <i>NO3</i>	$\epsilon_{yy}^{meca}$	0.03	1.0E-4 %

$t = 1.1s$	NO3	$\epsilon_{yy}^{plas}$	0.00239726027397	1.0E-4 %
$t = 1.4s$	NO3	$\epsilon_{yy}^{plas}$	0.0110411899313	1.0E-4 %
$t = 2,0s$	NO3	$\epsilon_{yy}^{plas}$	0.0287528604119	1.0E-4 %

$\epsilon^{th}$  : déformations thermiques -  $\epsilon^{meca}$  : déformations mécaniques -  $\epsilon^{plas}$  : déformations plastiques



## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 2D axisymétrique :

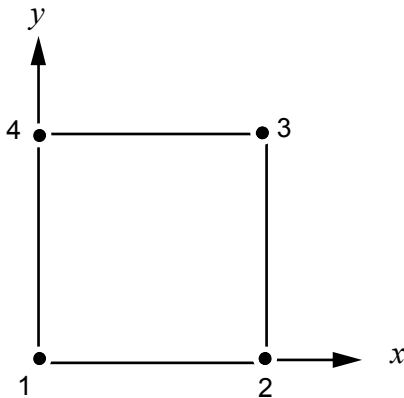


Figure 3.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation

Conditions aux limites :  $U_y = 0$  sur *NO1* et *NO2*  
 $U_y = u^{meca} = 30 \text{ mm}$  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, 1 SEG2.

### 4.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Grandeur	Référence	Tolérance
$t = 1.1\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>SIYY</i>	120.113910175	1.0E-4 %
$t = 1.4\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>SIYY</i>	190.879298792	1.0E-4 %
$t = 2.0\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>SIYY</i>	247.146107033	1.0E-4 %
$t = 1.1\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>DY</i>	3.99751358807	1.0E-4 %
$t = 1.4\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>DY</i>	12.9975135881	1.0E-4 %
$t = 2.0\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>DY</i>	30.9975135881	1.0E-4 %
$t = 1.1\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>VI</i>	0.00239196685483	1.0E-4 %
$t = 1.4\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>VI</i>	0.0109680756477	1.0E-4 %
$t = 2.0\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>VI</i>	0.0283169374338	1.0E-4 %
$t = 1.1\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>V7</i>	20.5025730414	1.0E-4 %
$t = 1.4\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>V7</i>	91.5239672252	1.0E-4 %
$t = 2.0\text{s}$ <i>NO3</i>	<i>V7</i>	148.008633506	1.0E-4 %

## 5 Synthèse des résultats

---

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.