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.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

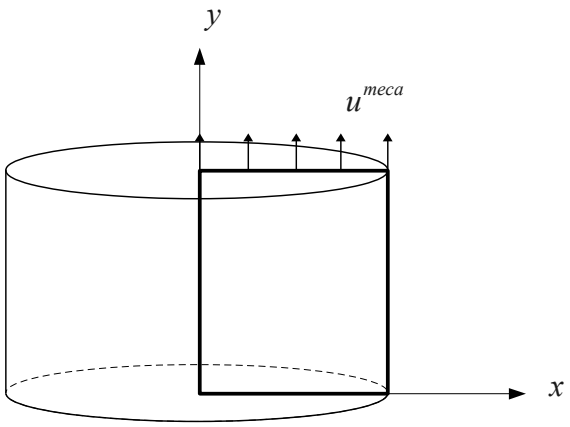


Figure 1.1-a : Géométrie et chargement du problème de référence

Il s'agit d'un cylindre de hauteur $H=1000\,mm$, et de rayon $R=1000\,mm$.
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 $16\mathrm{MND5}$)
- $\rho C_p=5.26\mathrm{E}^{-3}\,J.mm^{-3.}\circ C^{-1}$
- $\lambda=33.5\mathrm{E}^{-3}\,W.mm^{-1.}\circ C^{-1}$

Coefficients pour la métallurgie :

- TRC "standard"
- $AR3=830\,°C$, $alpha=-0.0306$
- $MS0=400\,°C$, $AC1=724\,°C$, $AC3=846\,°C$
- $\tau_1=0.034$, $\tau_3=0.034$

Pour le calcul thermo-métallo-mécanique

- Module d'Young: $E=200000\,MPa$
- Coefficient de Poisson : $\nu=0.3$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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

- $T_{ref}=20\,°C$
- Coefficient de dilatation thermique moyen des phases froides : $\alpha_f(T)=10\,E^{-6}$
- Coefficient de dilatation thermique moyen de la phase chaude : $\alpha_\gamma(T)=10\,E^{-5}$
- Température de définition du coefficient de dilatation : $T_\gamma=20\,°C$
- 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 : $\mathrm{F_sigm_f}(T)=100\,MPa$
- Limite d'élasticité de la phase froide 2 pour un comportement plastique : $\mathrm{F_sigm_f}(T)=100\,MPa$
- Limite d'élasticité de la phase froide 3 pour un comportement plastique : $\mathrm{F_sigm_f}(T)=100\,MPa$
- Limite d'élasticité de la phase froide 4 pour un comportement plastique : $\mathrm{F_sigm_f}(T)=100\,MPa$
- Limite d'élasticité de la phase chaude pour un comportement plastique : $\mathrm{F_sigm_f}(T)=100\,MPa$
- Fonction utilisée pour la loi de mélange sur la limite d'élasticité du matériau multiphasé pour un comportement plastique :

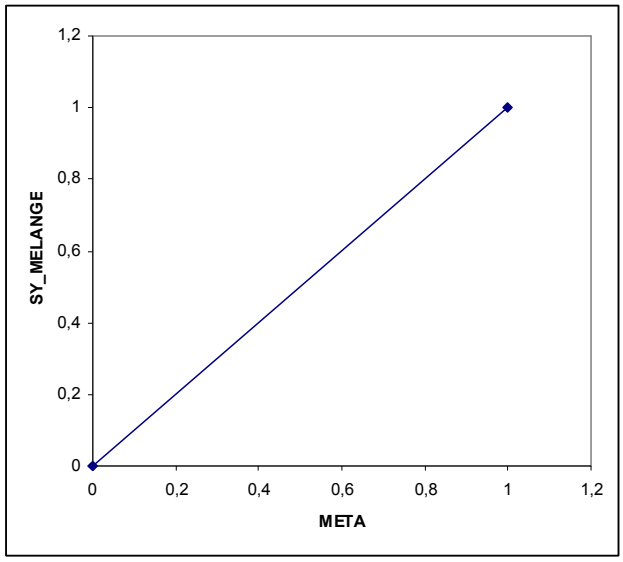


Figure 1.2-a : Loi de mélange

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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 $20\,°C$:

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 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

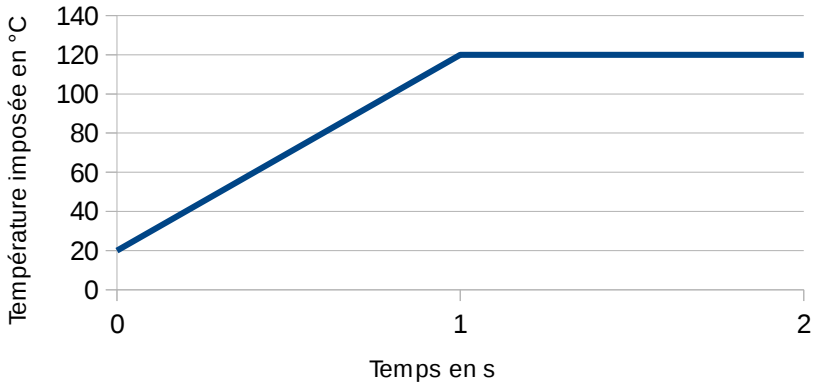
1.3 Conditions aux limites et chargements

La base du cylindre est bloquée suivant y :

$Uy=0$ sur la base du cylindre.

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

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



Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1.4 Conditions initiales

Température initiale : $T(x,y,0)=20\,°C$

Les variables suivantes sont initialisées :

$$Z_f(x,y,0)=0.7$$
$$Z_p(x,y,0)=0.0$$
$$Z_b(x,y,0)=0.3$$
$$Z_m(x,y,0)=0.0$$
$$d(x,y,0)=0.0$$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation $2D$ axisymétrique :

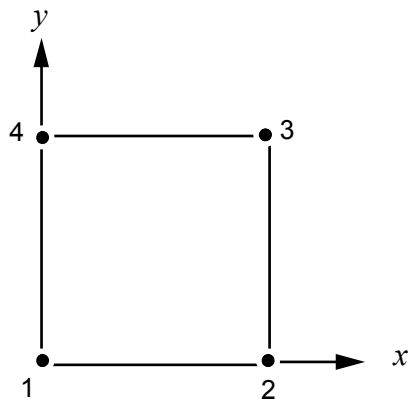


Figure 3.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation

Conditions aux limites : $Uy=0$ sur $NO1$ et $NO2$
$Uy=u^{meca}=30\,mm$ 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
$t=1.1s$	$NO3$	$SIYY$	120.547945205	1.0E-4 %
$t=1.4s$	$NO3$	$SIYY$	191.76201373	1.0E-4 %
$t=2.0s$	$NO3$	$SIYY$	249.42791762	1.0E-4 %
$t=1.1s$	$NO3$	DY	4.0	1.0E-4 %
$t=1.4s$	$NO3$	DY	13.0	1.0E-4 %
$t=2.0s$	$NO3$	DY	31.0	1.0E-4 %
$t=1.1s$	$NO3$	$V1$	0.00239726027397	1.0E-4 %
$t=1.4s$	$NO3$	$V1$	0.0110411899313	1.0E-4 %
$t=2.0s$	$NO3$	$V1$	0.0287528604119	1.0E-4 %
$t=1.1s$	$NO3$	$V7$	20.5479452055	1.0E-4 %
$t=1.4s$	$NO3$	$V7$	91.76201373	1.0E-4 %
$t=2.0s$	$NO3$	$V7$	149.42791762	1.0E-4 %
$t=1.1s$	$NO3$	ε^{th}	0.001	1.0E-4 %
$t=1.1s$	$NO3$	ε_{yy}^{meca}	0.003	1.0E-4 %
$t=1.4s$	$NO3$	ε_{yy}^{meca}	0.012	1.0E-4 %
$t=2,0\,s$	$NO3$	ε_{yy}^{meca}	0.03	1.0E-4 %

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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

ε^{th} : déformations thermiques - ε^{meca} : déformations mécaniques - ε^{plas} : déformations plastiques

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation $2D$ axisymétrique :

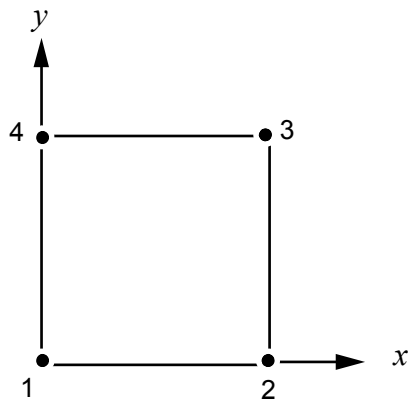


Figure 3.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation

Conditions aux limites : $Uy=0$ sur $NO1$ et $NO2$
$Uy=u^{meca}=30\,mm$ 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
$t=1.1\text{s}$ $NO3$	$SIYY$	120.113910175	1.0E-4 %
$t=1.4\text{s}$ $NO3$	$SIYY$	190.879298792	1.0E-4 %
$t=2.0\text{s}$ $NO3$	$SIYY$	247.146107033	1.0E-4 %
$t=1.1\text{s}$ $NO3$	DY	3.99751358807	1.0E-4 %
$t=1.4\text{s}$ $NO3$	DY	12.9975135881	1.0E-4 %
$t=2.0\text{s}$ $NO3$	DY	30.9975135881	1.0E-4 %
$t=1.1\text{s}$ $NO3$	$V1$	0.00239196685483	1.0E-4 %
$t=1.4\text{s}$ $NO3$	$V1$	0.0109680756477	1.0E-4 %
$t=2.0\text{s}$ $NO3$	$V1$	0.0283169374338	1.0E-4 %
$t=1.1\text{s}$ $NO3$	$V7$	20.5025730414	1.0E-4 %
$t=1.4\text{s}$ $NO3$	$V7$	91.5239672252	1.0E-4 %
$t=2.0\text{s}$ $NO3$	$V7$	148.008633506	1.0E-4 %

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

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.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)