
HSNV123 - Thermo-métallo-mécanique EDGAR

Résumé :

Ce test illustre un calcul mécanique 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`, `META_ECRO_LINE` et `META_VISC_FO`.

Ce cas test de non-régression permet de vérifier la cohérence de *Code_Aster* d'une version à l'autre en ce qui concerne la métallurgie.

1 Problème de référence

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

1.1 Géométrie

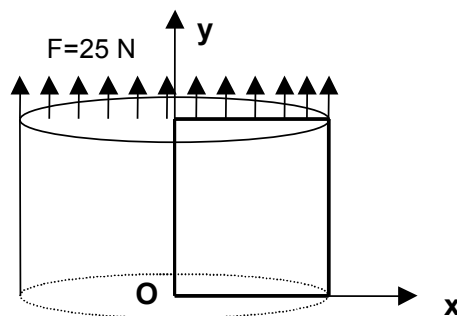


Figure 1.1-a : Géométrie et chargement du problème de référence

Il s'agit d'un cylindre de hauteur $H=1.0\text{ m}$, et de rayon $R=1.0\text{ m}$.
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
(Zircaloy)

$$\rho C_p = 2000000 \text{ J.m}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\lambda = 9999.9 \text{ W.m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

Coefficients pour la métallurgie :

$$teqd = 809^\circ\text{C}, K = 1.135 E^{-2}, n = 2.187$$

$$tlc = 831^\circ\text{C}, t2c = 0., qsr = 14614, Ac = 1.58E-4$$

$$m = 4.7, tlr = 949.1^\circ\text{C}, t2e = 0., Ar = -5.725, Br = 0.05$$

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 :

- $T_{ref} = 800^\circ\text{C}$

- Coefficient de dilatation thermique moyen des phases froides : $\alpha_f(T) = 0$

- Coefficient de dilatation thermique moyen de la phase chaude : $\alpha_y(T) = 0$

- Température de définition du coefficient de dilatation : $T_y = 800^\circ\text{C}$

- Choix de la phase métallurgique de référence : chaude

- Déformation de la phase non de référence par rapport à la phase de référence à la température

$$T_{ref} : \Delta \varepsilon = 0$$

- Limite d'élasticité de la phase froide 1 pour un comportement visqueux : $F_{sigm_f}(T) = 0$

- Limite d'élasticité de la phase froide 2 pour un comportement visqueux : $F_{sigm_f}(T) = 0$

- Limite d'élasticité de la phase chaude pour un comportement visqueux : voir [Figure 1.2-a]

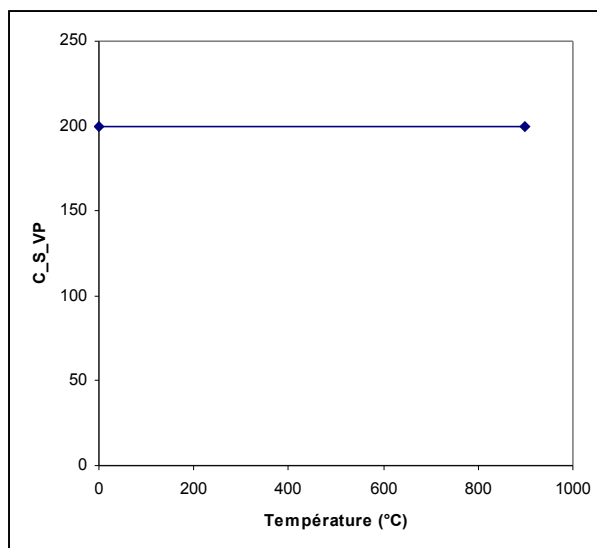


Figure 1.2.-a : Limite d'élasticité de la phase chaude pour un comportement visqueux

- 1) Fonction utilisée pour la loi de mélange sur la limite d'élasticité du matériau multiphasé pour un comportement visqueux : f

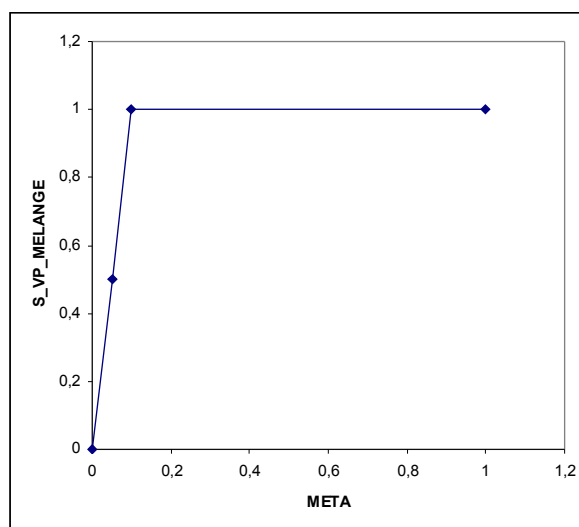


Figure 1.2-b : Loi de mélange

Définition des modules d'écrouissage utilisés dans la modélisation du phénomène d'écrouissage isotrope linéaire d'un matériau subissant des changements de phases métallurgiques :

- 1) Pente de la courbe de traction pour la phase froide 1

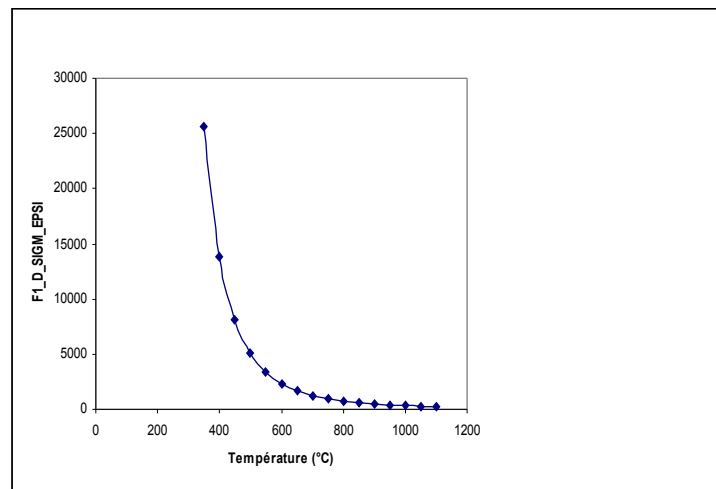


Figure 1.2-c : Courbe de traction pour la phase froide 1

- Pente de la courbe de traction pour la phase froide 2 :

$$f(T)=0$$

- Pente de la courbe de traction pour la phase chaude :

$$f(T)=0$$

Définition des paramètres visqueux de la loi de comportement viscoplastique avec prise en compte de la métallurgie :

- 1) Paramètre η de la loi d'écoulement viscoplastique, pour la phase froide 1

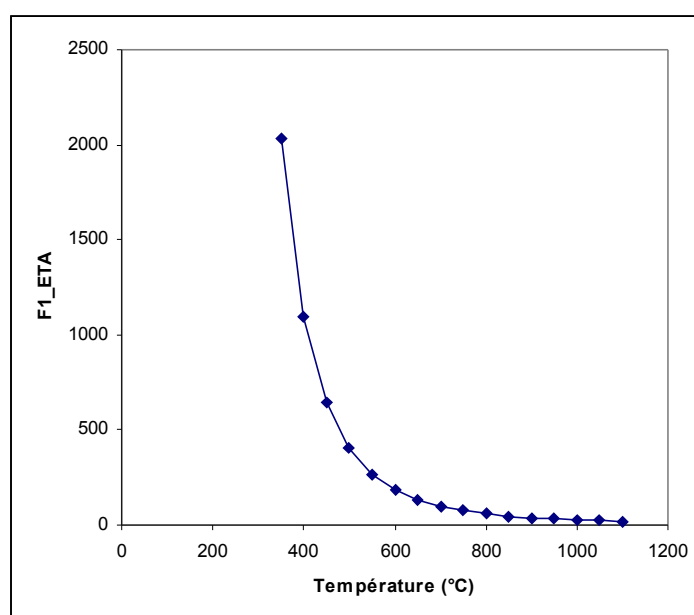


Figure 1.2-d : Paramètre η de la loi d'écoulement viscoplastique, pour la phase froide 1

1) Paramètre η de la loi d'écoulement viscoplastique, pour la phase froide 2

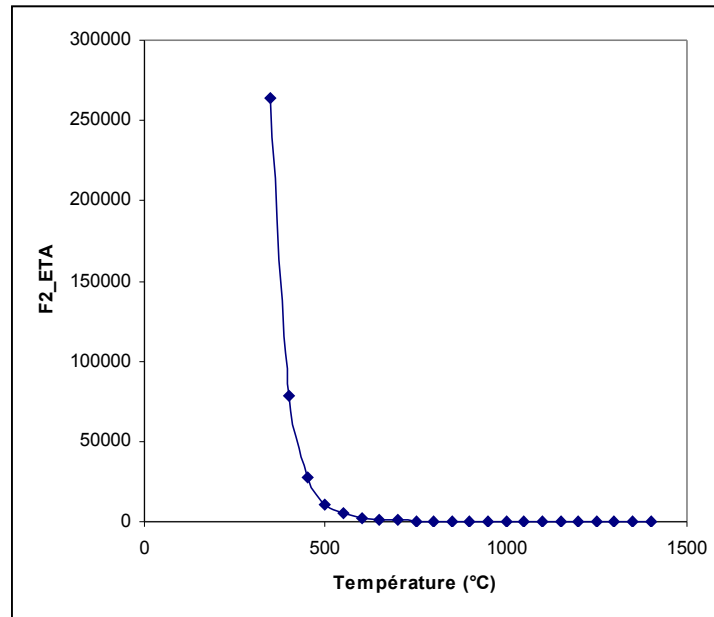


Figure 1.2-e : Paramètre η de la loi d'écoulement viscoplastique, pour la phase froide 2

- Paramètre η de la loi d'écoulement viscoplastique, pour la phase chaude :
 $f(T)=0$
- Paramètre n de la loi d'écoulement viscoplastique, pour la phase froide 1 :
 $f(T)=5.76$
- Paramètre n de la loi d'écoulement viscoplastique, pour la phase froide 2 :
 $f(T)=2.94$
- Paramètre n de la loi d'écoulement viscoplastique, pour la phase chaude :
 $f(T)=1.0$
- Paramètre C relatif à la restauration d'écrouissage d'origine visqueuse, pour la phase froide 1 :
 $f(T)=13.70539827$
- Paramètre C relatif à la restauration d'écrouissage d'origine visqueuse, pour la phase froide 2 :
 $f(T)=0$
- Paramètre C relatif à la restauration d'écrouissage d'origine visqueuse, pour la phase chaude :
 $f(T)=0$
- Paramètre m relatif à la restauration d'écrouissage d'origine visqueuse, pour la phase froide 1 :
 $f(T)=5.76$
- Paramètre m relatif à la restauration d'écrouissage d'origine visqueuse, pour la phase froide 2 :
 $f(T)=1.0$
- Paramètre m relatif à la restauration d'écrouissage d'origine visqueuse, pour la phase chaude :
 $f(T)=1.0$

1.3 Conditions aux limites et chargements

La base du cylindre est bloquée suivant y :

$$U_y = 0 \text{ sur la base du cylindre}$$

Une force de traction $F = 25 \text{ N}$ est imposée sur le haut du cylindre

La température est imposée sur tout le cylindre pour $t = 120 \text{ s}$.

$$T(x, y, 120) = 800^\circ \text{C}$$

1.4 Conditions initiales

Les variables suivantes sont initialisées :

- $T(x, y, 0) = 800^{\circ}C$
- $V1(x, y, 0) = 1.0$
- $V2(x, y, 0) = 0.0$
- $V3(x, y, 0) = 20.$
- $V4(x, y, 0) = 0.$

$V1$: proportion de la phase à froid α

$V2$: proportion de la phase à froid α , mélangé à la phase β

$V3$: températures aux nœuds

$V4$: temps correspondant à la température de début ou de fin de la transformation à l'équilibre

2 Solution de référence

2.1 Résultats de référence

Les résultats de référence 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%.

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée dans le cas test est la suivante :

Eléments 2D 'AXIS' (QUA8)

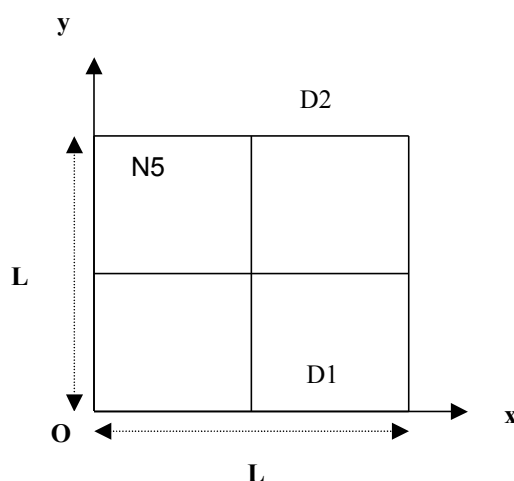


Figure 3.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation

Découpage : 2 mailles QUAD8 selon l'axe des x
2 mailles QUAD8 selon l'axe des y

Conditions aux limites : $U_y = 0$ sur $D1$
 $F = 25N$ sur $D2$

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 21
Nombre de mailles et types : 4 QUAD8, 8 SEG3.

3.3 Valeurs testées

Identification	Grandeur	Référence	Aster	% différence
$t = 120s$ M3 N5 EPYY		-3.1E-2	-2.888E-2	6.8%
$t = 120s$ M3 N5 SIYY		-25.0	-24.99	8.90E-5%