

## HSNV139 - Plaque en traction-cisaillement : élasto-plasticité avec métallurgie

---

### Résumé :

Ce test de mécanique quasi-statique non linéaire consiste à charger en traction-cisaillement une plaque carrée. Il est largement inspiré des tests SSNP14 [V6.03.014] et SSNP15 [V6.03.015] issus du guide VPCS.

L'objectif de ce cas test est la validation de deux lois de comportement élasto-plastiques avec métallurgie, dans le cas d'un matériau de type **Zircaloy** :

- la loi de comportement élasto-plastique de VonMises à écrouissage cinématique linéaire,
- la loi de comportement élasto-plastique de Von Mises à écrouissage isotrope linéaire, en grandes déformations.

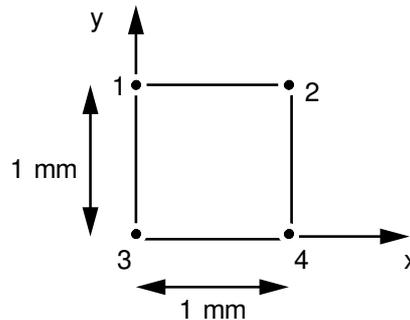
La température et l'état métallurgique sont constants. Le comportement élasto-plastique avec métallurgie est comparé au comportement élasto-plastique équivalent sans métallurgie.

La plaque est modélisée par un élément volumique (HEXA8).

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

Les contraintes et déformations sont homogènes dans l'élément de volume. Celui-ci peut être représenté par un élément plan ou volumique, par exemple :



### 1.2 Propriétés de matériaux

Les propriétés matériaux sont décrites par les paramètres suivants :

#### Paramètres thermo-métallurgiques :

- Zircaloy :
  - $\rho C_p = 2.0E^{-3} J.mm^{-3}.^{\circ}C^{-1}$
  - $\lambda = 9.9999 W.mm^{-1}.^{\circ}C^{-1}$
- Coefficients pour la métallurgie :
  - $teqd = 809^{\circ}C$  ,  $K = 1.135 E^{-2}$  ,  $n = 2.187$
  - $t1c = 831^{\circ}C$  ,  $t2c = 0.$  ,  $qsr = 14614$  ,  $Ac = 1.58E-4$
  - $m = 4.7$  ,  $t1r = 949,1^{\circ}C$  ,  $t2r = 0.$  ,  $Ar = -5.725$  ,  $Br = 0.05$

#### Paramètres thermo-métallo-mécaniques :

- Paramètres thermo-métallo-élastiques :
  - Module d'Young :  $E = 195000 MPa$
  - Coefficient de Poisson :  $\nu = 0.3$
  - Coefficient de dilatation thermique moyen des phases froides :  $\alpha_f = 15E-6$
  - Coefficient de dilatation thermique moyen des phases chaudes :  $\alpha_y = 23E-6$
  - Température de définition du coefficient de dilatation :  $T_{ref} = 600^{\circ}C$
  - Choix de la phase métallurgique de référence : *Froide*
  - Déformation de la phase non de référence par rapport à la phase de référence, à  $T_{ref}$  :  

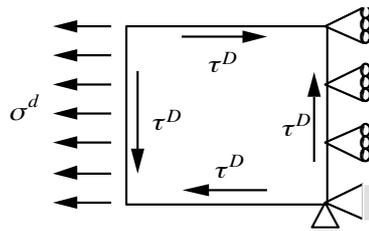
$$\Delta \varepsilon_{fy}^{T_{ref}} = 2.52E^{-3}$$
  - Limite d'élasticité de la phase froide 1 :  $\sigma_{y,1} = 181 MPa$
  - Limite d'élasticité de la phase froide 2 :  $\sigma_{y,2} = 181 MPa$
  - Limite d'élasticité de la phase chaude :  $\sigma_{y,y} = 0 MPa$
  - Fonction de mélange (calcul de la limite d'élasticité du matériau multiphasé) :  
*fonction identité*
- Paramètres thermo-métallo-plastiques (loi avec écrouissage linéaire)

- Pente de la courbe de traction de la phase froide 1 :  $E_{T,1} = 1930 \text{ MPa}$
- Pente de la courbe de traction de la phase froide 2 :  $E_{T,2} = 1930 \text{ MPa}$
- Pente de la courbe de traction de la phase chaude :  $E_{T,y} = 0 \text{ MPa}$

## 1.3 Conditions aux limites et chargements

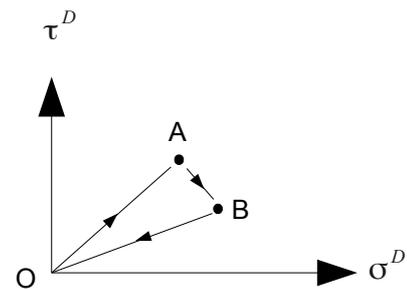
- **Modélisation A :**

L'élément de volume est bloqué suivant  $Ox$  le long du côté  $[2,4]$  tout en étant soumis à une traction  $\sigma^D$  et un effort de cisaillement  $\tau^D$ .



Le trajet de chargement est le suivant :

	$\sigma^D$ [MPa]	$\tau^D$ [MPa]
A	151.2	93.1
B	257.2	33.1



Trajet OA de  $t=0$  à  $1\text{s}$ .  
Trajet AB de  $t=1$  à  $2\text{s}$ .  
Trajet BO de  $t=2$  à  $3\text{s}$ .

La température est imposée constante et égale à  $600^\circ\text{C}$ .

- **Modélisation B :**

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

## 2 Solution de référence

---

### 2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

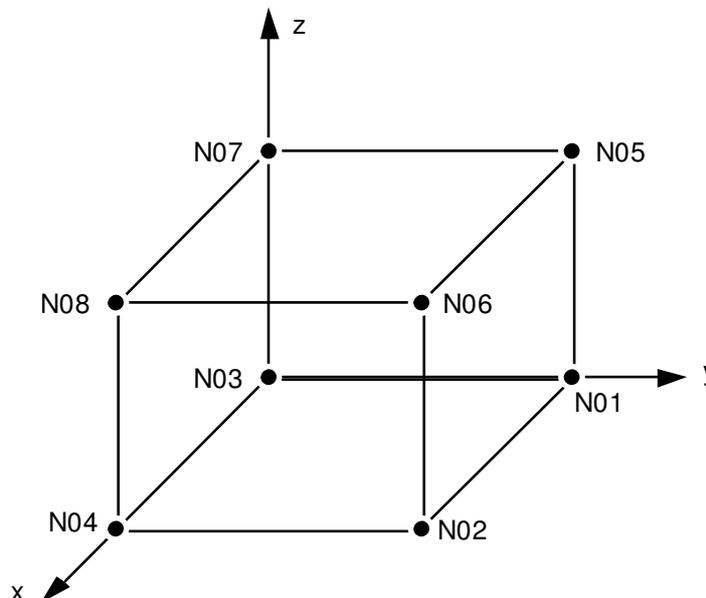
La solution de référence est obtenue en résolvant le problème de référence en considérant uniquement le comportement mécanique.

### 2.2 Résultats de référence

On s'intéressera aux valeurs des contraintes  $\sigma_{xx}$  et  $\sigma_{xy}$ , et des déformations totales  $\epsilon_{xx}$ ,  $\epsilon_{yy}$  et  $\epsilon_{xy}$ .

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation



Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

Sur le noeud N04,  $DX=DY=0$   
 Sur le noeud N08,  $DX=DY=DZ=0$   
 Sur le noeud N02,  $DX=0$ .  
 Sur le noeud N06,  $DX=0$ .

On impose une force nodale sur :

$$(N01 \ N03 \ N05 \ N07), \quad FX = -\frac{1}{4} \sigma_d(t), \quad FY = -\frac{1}{4} \tau_d(t)$$

$$(N03 \ N04 \ N07 \ N08), \quad FX = -\frac{1}{4} \tau_d(t)$$

$$(N02 \ N04 \ N06 \ N08), \quad FY = \frac{1}{4} \tau_d(t)$$

$$(N01 \ N02 \ N05 \ N06), \quad FX = \frac{1}{4} \tau_d(t)$$

Le calcul mécanique est réalisé avec la loi de comportement élasto-plastique de VonMises avec écrouissage cinématique linéaire (mot clé 'RELATION = META\_P\_CL').

### 3.2 Caractéristiques du maillage

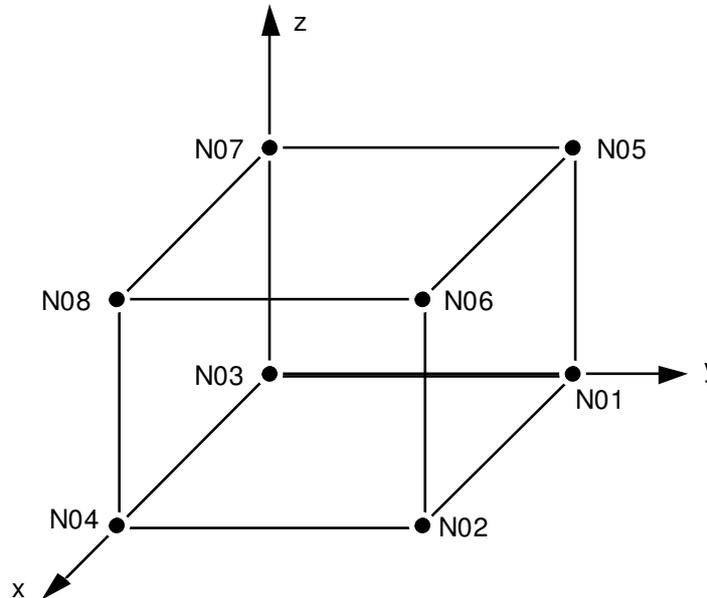
Nombre de nœuds : 8  
 Nombre de mailles et type : 1 HEXA8, 4 QUAD4

## 3.3 Grandeurs testées et résultats

Variables	Instants ( s )	Type de Référence	Référence	% tolérance
$\sigma_{xx}$	1	AUTRE_ASTER	151.2	$1.E^{-8}$
$\sigma_{xy}$	1	AUTRE_ASTER	93.1	$1.E^{-8}$
$\epsilon_{xx}$	1	AUTRE_ASTER	0.0148297136069	$1.E^{-8}$
$\epsilon_{yy}$	1	AUTRE_ASTER	-0.00725977988037	$1.E^{-8}$
$\epsilon_{xy}$	1	AUTRE_ASTER	0.0136014010824	$1.E^{-8}$
$\sigma_{xx}$	2	AUTRE_ASTER	257.2	$1.E^{-8}$
$\sigma_{xy}$	2	AUTRE_ASTER	33.1	$1.E^{-8}$
$\epsilon_{xx}$	2	AUTRE_ASTER	0.0406564534069	$1.E^{-8}$
$\epsilon_{yy}$	2	AUTRE_ASTER	-0.0200644318317	$1.E^{-8}$
$\epsilon_{xy}$	2	AUTRE_ASTER	0.0198372954357	$1.E^{-8}$
$\sigma_{xx}$	3	AUTRE_ASTER	4.67477798665E-13	$1.E^{-8}$
$\sigma_{xy}$	3	AUTRE_ASTER	2.92922830899E-14	$1.E^{-8}$
$\epsilon_{xx}$	3	AUTRE_ASTER	0.039337479048	$1.E^{-8}$
$\epsilon_{yy}$	3	AUTRE_ASTER	-0.019668739524	$1.E^{-8}$
$\epsilon_{xy}$	3	AUTRE_ASTER	0.019616628769	$1.E^{-8}$

## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation



Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

Sur le noeud N04,  $DX=DY=0$

Sur le noeud N08,  $DX=DY=DZ=0$

Sur le noeud N02,  $DX=0$ .

Sur le noeud N06,  $DX=0$ .

On impose une force nodale sur :

$$(N01 \ N03 \ N05 \ N07), \quad FX = -\frac{1}{4} \sigma_d(t), \quad FY = -\frac{1}{4} \tau_d(t)$$

$$(N03 \ N04 \ N07 \ N08), \quad FX = -\frac{1}{4} \tau_d(t)$$

$$(N02 \ N04 \ N06 \ N08), \quad FY = \frac{1}{4} \tau_d(t)$$

$$(N01 \ N02 \ N05 \ N06), \quad FX = \frac{1}{4} \tau_d(t)$$

Le calcul mécanique est réalisé avec la loi de comportement élasto-plastique de VonMises avec écrouissage isotrope linéaire (mot clé 'RELATION = META\_P\_IL' ) et en grandes déformations (mot clé 'DEFORMATION = SIMO\_MIEHE' )

### 4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8  
Nombre de mailles et type : 1 HEXA8, 4 QUAD4

## 4.3 Grandeurs testées et résultats

Variables	Instants ( s )	Type de Référence	Référence	% tolérance
$\sigma_{xx}$	1	AUTRE_ASTER	148.56612701	1.E <sup>-8</sup>
$\sigma_{xy}$	1	AUTRE_ASTER	94.6669933181	1.E <sup>-8</sup>
$\epsilon_{xx}$	1	AUTRE_ASTER	0.015468475646	1.E <sup>-8</sup>
$\epsilon_{yy}$	1	AUTRE_ASTER	-0.00768174092805	1.E <sup>-8</sup>
$\epsilon_{xy}$	1	AUTRE_ASTER	0.0141972994127	1.E <sup>-8</sup>
$\sigma_{xx}$	2	AUTRE_ASTER	248.713357259	1.E <sup>-8</sup>
$\sigma_{xy}$	2	AUTRE_ASTER	27.5330374296	1.E <sup>-8</sup>
$\epsilon_{xx}$	2	AUTRE_ASTER	0.0385022874704	1.E <sup>-8</sup>
$\epsilon_{yy}$	2	AUTRE_ASTER	-0.0195587811987	1.E <sup>-8</sup>
$\epsilon_{xy}$	2	AUTRE_ASTER	0.0210883631486	1.E <sup>-8</sup>
$\sigma_{xx}$	3	AUTRE_ASTER	1.409651686078	1.E <sup>-8</sup>
$\sigma_{xy}$	3	AUTRE_ASTER	0.718644752334	1.E <sup>-8</sup>
$\epsilon_{xx}$	3	AUTRE_ASTER	0.037173466674	1.E <sup>-8</sup>
$\epsilon_{yy}$	3	AUTRE_ASTER	-0.0191595912069	1.E <sup>-8</sup>
$\epsilon_{xy}$	3	AUTRE_ASTER	0.0209115907367	1.E <sup>-8</sup>

## 5 Synthèse des résultats

---

Les résultats sont très satisfaisants : la solution calculée en prenant en compte la métallurgie est très proche de la solution de référence (calcul purement mécanique).