

## SSNA123 – Validation de la loi de comportement des aciers sous irradiations en axisymétrique

---

### Résumé :

Ce test élémentaire a pour objectif de valider la loi de comportement `IRRAD3M` des aciers sous irradiations. Trois modélisations sont présentes pour valider séparément chaque aspect de la loi :

- la modélisation (a) se concentre sur la partie plastique de la loi,
- la modélisation (b) sur la partie irradiation,
- la modélisation (c) sur la partie gonflement.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

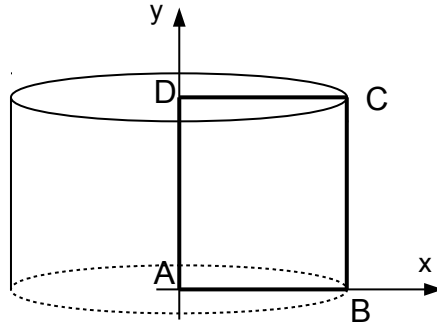


Figure 1.1-a : Géométrie du problème.

Il s'agit d'un cylindre de rayon  $1\text{ mm}$  et de hauteur  $1\text{ mm}$ .  
Le carré en gras correspond à la modélisation axisymétrique.

### 1.2 Propriétés de matériaux

Les propriétés matériaux sont dépendantes du type de modélisation et fonctions de la température en  $^{\circ}\text{C}$  et de l'irradiation en  $\text{dpa}$  (déplacement par atome).

Les paramètres matériaux utilisés dans ce cas test **ne doivent pas être utilisés pour faire des études**. Ils ne correspondent pas à des caractéristiques réelles.

Pour toutes les modélisations

Module d'Young :  $E = 210000.0 - 30.0 T$  en  $\text{MPa}$

Coefficient de Poisson :  $\nu = 0.30 + 5.0\text{E-}05 T$ .

Coefficient de dilatation thermique :  $\alpha = (15.0 + 0.002 T) 1.0\text{E-}06$

**Pour la modélisation a**

Partie plastique

$$\kappa = 1.0$$

Limite d'élasticité à 0.2% en  $\text{MPa}$  :  $R_{02} = R_{02}^0 \cdot C_{w\_R_e} \cdot I_{r\_R_e}$   
avec

$$R_{02}^0 = 270.0 - 0.65 T + 0.001 T^2$$

$$C_{w\_R_e} = 3.0$$

$$I_{r\_R_e} = \left( 2.0 - e^{\frac{-IRRA}{3}} \right)$$

Contrainte ultime en  $\text{MPa}$  :  $R_m = R_{02(T,IRRA)} + (R_m^0 - R_{02}^0) \cdot C_{w\_R_m} \cdot I_{r\_R_m}$   
avec

$$R_m^0 = 600.0 - 1.5 T + 0.010 T^2$$

$$C_{w\_R_m} = 0.50$$

$$I_{r\_R_m} = 0.25 - 0.10 \left( 1.0 - e^{\frac{-IRRA}{10.0}} \right) + e^{\frac{-IRRA}{3.0}}$$

Allongement réparti :  $\epsilon_u = \ln(1.0 + \epsilon_u^0 \cdot C_{w\_} \epsilon_u \cdot I_{r\_} \epsilon_u * 1.0E-02)$   
avec

$$\epsilon_u^0 = 50.0 - 0.15 T + 0.0007 T^2$$

$$C_{w\_} \epsilon_u = 0.25$$

$$I_{r\_} \epsilon_u = e^{-\frac{IRRA}{2}}$$

### Partie irradiation

$$A_{i0} = 0.0 \text{ MPa}^{-1} \cdot \text{dpa}^{-1}$$

$$\eta_{is} = 1.0E+50 \text{ MPa} \cdot \text{dpa}$$

### Partie gonflement

$$R = 0.0 \text{ dpa}^{-1}$$

$$\alpha = 0.0$$

$$\phi_0 = 0.0 \text{ dpa}$$

## **Pour la modélisation b**

### Partie plastique

$$R_{02} = 5.0E+09 \text{ Mpa} \quad R_m = 5.0E+09 \text{ Mpa} \quad \epsilon_u = 0.0$$

### Partie irradiation

$$A_{i0} = 2.0E-06 \text{ MPa}^{-1} \cdot \text{dpa}^{-1}$$

$$\eta_{is} = 1000.0 \text{ MPa} \cdot \text{dpa}$$

### Partie gonflement

$$R = 0.0 \text{ dpa}^{-1}$$

$$\alpha = 0.0$$

$$\phi_0 = 0.0 \text{ dpa}$$

## **Pour la modélisation c**

### Partie plastique

$$R_{02} = 5.0E+09 \text{ Mpa} \quad R_m = 5.0E+09 \text{ Mpa} \quad \epsilon_u = 0.0$$

### Partie irradiation

$$A_{i0} = 0.0 \text{ MPa}^{-1} \cdot \text{dpa}^{-1}$$

$$\eta_{is} = 1.0E+06 \text{ MPa} \cdot \text{dpa}$$

### Partie gonflement

$$R = 0.0025 \text{ dpa}^{-1}$$

$$\alpha = 1.0$$

$$\phi_0 = 1.0 \text{ dpa}$$

## **1.3 Conditions aux limites et chargements**

### **Modélisation a**

Pour les arêtes *AB* et *DC*,  $DY = 0$

Pour l'arête *AD*,  $DX = 0$

On applique de plus une rampe linéaire de température ayant pour maximum  $400^\circ\text{C}$ .

### **Modélisation b**

Pour l'arête *AB*,  $DY = 0$

Pour l'arête *AD*,  $DX = 0$

Pour l'arête *DC*, application d'une rampe linéaire de forces linéiques de valeur maximale  $FY = 200 \text{ N/mm}$

On applique de plus une rampe linéaire d'irradiation ayant pour maximum  $10 \text{ dpa}$  et une rampe de température ayant pour maximum  $400^\circ\text{C}$

### **Modélisation c**

Pour l'arête *AB*  $DY = 0$

Pour l'arête *AD*  $DX = 0$

## 2 Solution de référence

---

### 2.1 Résultats de référence

**Modélisation a**

C'est un cas test de non-régression.

**Modélisation b**

C'est un cas test de non-régression.

**Modélisation c**

C'est un cas test de non-régression.

### 2.2 Incertitude sur les solutions

**Modélisation a**

C'est un cas test de non-régression

**Modélisation b**

C'est un cas test de non-régression

**Modélisation c**

C'est un cas test de non-régression

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée dans le cas test est la suivante :

Éléments 2D 'AXIS' (QUA4)

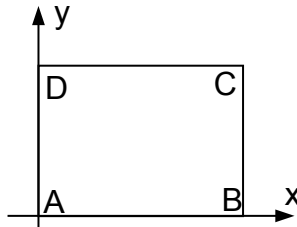


Figure 3.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation utilisée.

Découpage : 1 maille QUAD4 selon l'axe des  $x$   
1 maille QUAD4 selon l'axe des  $y$

Nœuds :

$A$  : maille  $MI$  nœud  $N1$   
 $B$  : maille  $MI$  nœud  $N2$   
 $C$  : maille  $MI$  nœud  $N3$   
 $D$  : maille  $MI$  nœud  $N4$

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4

Nombre de mailles et types : 1 QUAD4, 3 SEG2.

### 3.3 Grandeurs testées et résultats

	Identification	Champ	Grandeur	Référence	Tolérance
$t=200s$	$MI$ Point 1	SIEF_ELGA	SIYY	-5,40000000E+02	1.00E-04%
$t=200s$	$N2$	DEPL	DX	4,11705882E-03	1.00E-04%
$t=200s$	$MI$ Point 1	VARI_ELGA	V1	4,32941176E-04	1.00E-04%
$t=400s$	$MI$ Point 1	SIEF_ELGA	SIYY	-6,15143448E+02	1.00E-04%
$t=400s$	$N2$	DEPL	DX	8,92077868E-03	1.00E-04%
$t=400s$	$MI$ Point 1	VARI_ELGA	V1	3,21321491E-03	1.00E-04%

## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée dans le cas test est la suivante :

Éléments 2D 'AXIS' (QUA4)

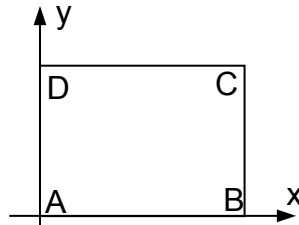


Figure 4.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation utilisée.

Découpage : 1 maille QUAD4 selon l'axe des  $x$   
1 maille QUAD4 selon l'axe des  $y$

Nœuds :

A : maille MI nœud N1

B : maille MI nœud N2

C : maille MI nœud N3

D : maille MI nœud N4

Il s'agit d'un test de fluage à pression constante sur un élément axisymétrique.

### 4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4

Nombre de mailles et types : 1 QUAD4, 3 SEG2.

### 4.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Champ	Grandeur	Référence	Tolérance
$t=2000s$ N4	DEPL	DY	3,0101E-03	1.00E-04%
$t=2000s$ MI Point 1	VARI ELGA	V2	2,0000E+03	1.00E-04%
$t=2000s$ MI N2	EPSI_ELNO	EPYY	3,0101E-03	1.00E-04%

## 5 Modélisation C

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée dans le cas test est la suivante :

Éléments 2D 'AXIS' (QUA4)

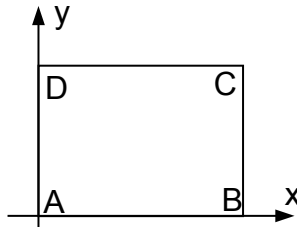


Figure 5.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation utilisée.

Découpage : 1 maille QUAD4 selon l'axe des  $x$   
1 maille QUAD4 selon l'axe des  $y$

Nœuds :

A : maille MI nœud N1

B : maille MI nœud N2

C : maille MI nœud N3

D : maille MI nœud N4

### 5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4

Nombre de mailles et types : 1 QUAD4, 3 SEG2.

### 5.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Champ	Grandeur	Référence	Tolérance
$t=0.1s$ MI N2	EPSI_ELNO	EPYY	1,05722838E-02	1.0E-04%
$t=0.1s$ MI Point 1	VARI_ELGA	V4	1,05722838E-02	1.0E-04%
$t=1s$ MI N2	EPSI_ELNO	EPYY	1,15572282E-01	1.0E-04%
$t=1s$ MI Point 1	VARI_ELGA	V4	1,15572282E-01	1.0E-04%

## 6 Commentaires

---

Ces cas tests permettent de valider la loi de comportement `IRRAD3M` dans le cas élémentaire en axisymétrique et en activant pour une modélisation donnée une seule partie de la loi (plasticité, irradiation et gonflement).