

## SSNV230 - Validation de la loi de comportement des aciers 300 sous irradiations en 3D

---

### Résumé :

Ces tests élémentaires ont pour objectif de valider la loi de comportement `IRRAD3M` des aciers sous irradiations en 3D , en activant le fluage d'irradiation et le gonflement.  
Il s'agit d'un cas test de non régression.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

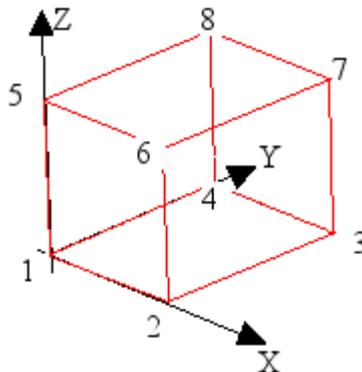


Figure 1.1-a : Géométrie du problème, cube de 1mm de coté.

### 1.2 Propriétés de matériaux

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.

Les différentes propriétés matériaux sont données ci-dessous, avec :

- $T$  : température en  $^{\circ}C$
- $IRRA$  : l'irradiation en  $dpa$  [R5.03.23]

Module d'Young :  $E = 210000.0 - 30.0 T$  en  $MPa$

Coefficient de Poisson :  $\nu = 0.30 + 5.0E-05 T$

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

#### Partie plastique

$$\kappa = 0.8$$

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

avec

$$R_{02}^0 = 270.0 - 0.65 T + 0.0010 T^2$$

$$C_{w\_R_e} = 1.0$$

$$I_{r\_R_e} = \left( 4.0 - 3.0 e^{-\frac{IRRA}{3}} \right)$$

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

avec

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

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

$$I_{r\_R_m} = 0.005 - 0.0020 \left( 1.0 - e^{-\frac{IRRA}{8.0}} \right) + e^{-\frac{IRRA}{3.0}}$$

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

$$\begin{aligned} \epsilon_u^0 &= 50.0 - 0.15 T + 0.007 T^2 \\ C_{w\_} \epsilon_u &= 1.0 \\ I_{r\_} \epsilon_u &= e^{-IRRA} \end{aligned}$$

### Partie irradiation

$$\begin{aligned} A_{i0} &= 3.0E-06 \text{ MPa}^{-1} \text{ dpa}^{-1} \\ \eta_{is} &= 1000 \text{ MPa} \cdot \text{dpa} \end{aligned}$$

### Partie gonflement

$$\begin{aligned} R &= 0.0020 \text{ dpa}^{-1} \\ \alpha &= 1.0 \\ \varphi_0 &= 45.0 \text{ dpa} \text{ ou } \varphi_0 = 1.0 \text{ dpa} \end{aligned}$$

## 1.3 Conditions aux limites et chargements

### Modélisation A

Pour les nœuds 1, 2, 3, 4 :  $DX = DY = DZ = 0$

Pour les nœuds 5, 6, 7, 8 :  $DX = DY = 0$

On applique de plus une rampe linéaire de température ayant pour maximum  $400^\circ\text{C}$  ainsi qu'une rampe linéaire d'irradiation ayant pour maximum  $140 \text{ dpa}$  (figure 1.3-a).

Les caractéristiques matériaux pour le gonflement sont ceux de la borne inférieure.

### Modélisation B

Conditions en déplacement

$$DX = 0, \text{ nœuds : } 1, 4, 5, 8$$

$$DY = 0, \text{ nœuds : } 1, 2, 5, 6$$

$$DZ = 0, \text{ nœuds : } 1, 4, 2, 3$$

Nœuds : 2, 3, 6, 7

$$DX = 0.0 \quad t = 0.0 \text{ sec}$$

$$DX = 3.0E-03 \quad t = 10.0 \text{ sec}$$

$$DX = 3.0E-03 \quad t = 90.0 \text{ sec}$$

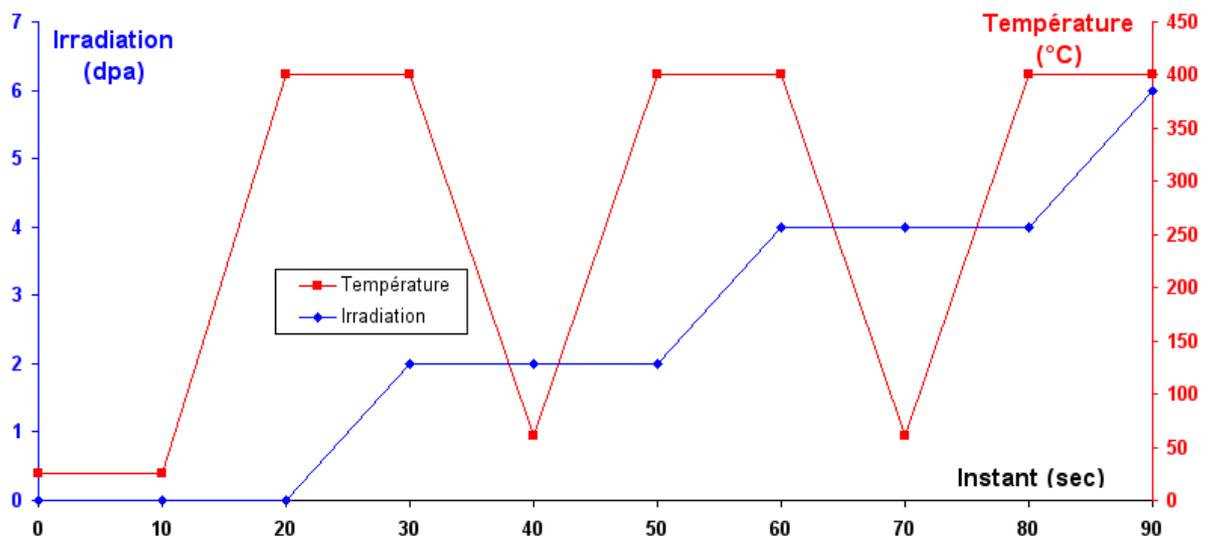
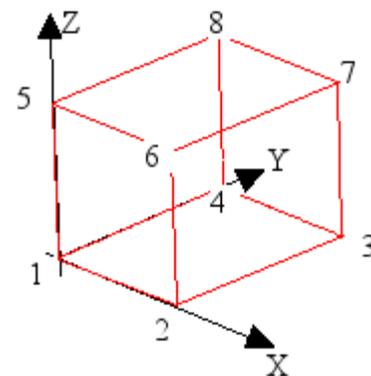


Figure 1.3-a : Conditions en température et en irradiation à tous les nœuds en fonction du temps.

La modélisation est faite une première fois avec les caractéristiques de gonflement qui correspondent à la borne supérieure puis une seconde avec les caractéristiques de gonflement qui correspondent à la borne inférieure.

## 2 Solution de référence

---

### 2.1 Résultats de référence

Chaque modélisation 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 : **Élément '3D' (HEXA8)**

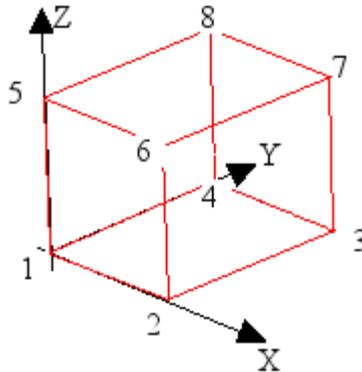


Figure 3.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation utilisée.

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8

Nombre de mailles et types : 1 HEXA8, 2 QUA4.

### 3.3 Caractéristiques matériau

Les caractéristiques du matériau sont celles qui ont été indiquées précédemment et  $\varphi_0 = 45.0$  dpa .

### 3.4 Grandeurs testées et résultats

Identification	Champ	Grandeur	Référence	Tolérance
t= 20s M1 Point 1	SIEF_ELGA	SIYY	-2.22679599E+02	1.00E-04%
t=100s M1 Point 1	SIEF_ELGA	SIYY	-2.02670376E+02	1.00E-04%
t=200s M1 Point 1	SIEF_ELGA	SIYY	-4.44447078E+02	1.00E-04%
t=100s M1 Point 1	VARI_ELGA	V1	1.12479090E-02	1.00E-04%
t=110s M1 Point 1	VARI_ELGA	V2	1.45524631E+03	1.00E-04%
t=200s M1 Point 1	VARI_ELGA	V2	4.26686655E+04	1.00E-04%
t=200s M1 Point 1	VARI_ELGA	V4	6.33333333E-02	1.00E-04%
t=110s M1 Point 1	VARI_ELGA	V3	1.36573893E-03	1.00E-04%
t=200s M1 Point 1	VARI_ELGA	V3	1.25005997E-01	1.00E-04%

## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée dans le cas test est la suivante : **Éléments '3D' (HEXA8)**

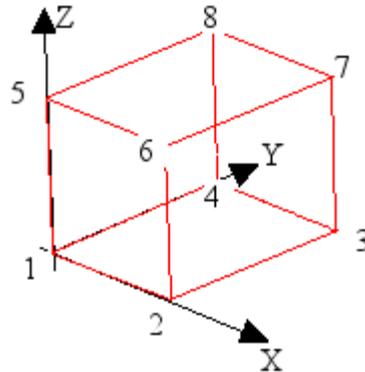


Figure 4.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation utilisée.

### 4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8  
Nombre de mailles et types : 1 HEXA8

### 4.3 Caractéristiques matériau

Les caractéristiques du matériau sont celles qui ont été indiquées précédemment et  $\varphi_0 = 1.0$  dpa

## 4.4 Grandeurs testées et résultat

Identification	Champ	Grandeur	Référence	Tolérance
t=10s Point 1	SIEF_ELGA	SIXX	2.53993074E+02	1.0E-04%
t=20s Point 1	SIEF_ELGA	SIXX	-1.85047588E+02	1.0E-04%
t=30s Point 1	SIEF_ELGA	SIXX	-1.85047588E+02	1.0E-04%
t=40s Point 1	SIEF_ELGA	SIXX	5.99759750E+02	1.0E-04%
t=50s Point 1	SIEF_ELGA	SIXX	-4.97991692E+02	1.0E-04%
t=60s Point 1	SIEF_ELGA	SIXX	-3.21076660E+02	1.0E-04%
t=70s Point 1	SIEF_ELGA	SIXX	7.75854613E+02	1.0E-04%
t=80s Point 1	SIEF_ELGA	SIXX	-3.30523956E+02	1.0E-04%
t=90s Point 1	SIEF_ELGA	SIXX	-9.98659764E+01	1.0E-04%
t=10s Point 1	VARI_ELGA	V1	1.78617408E-03	1.0E-04%
t=20s Point 1	VARI_ELGA	V1	5.56276438E-03	1.0E-04%
t=30s Point 1	VARI_ELGA	V1	5.56276438E-03	1.0E-04%
t=40s Point 1	VARI_ELGA	V1	7.14329016E-03	1.0E-04%
t=50s Point 1	VARI_ELGA	V1	7.14329016E-03	1.0E-04%
t=60s Point 1	VARI_ELGA	V1	7.14329016E-03	1.0E-04%
t=70s Point 1	VARI_ELGA	V1	7.19100378E-03	1.0E-04%
t=80s Point 1	VARI_ELGA	V1	7.19100378E-03	1.0E-04%
t=90s Point 1	VARI_ELGA	V1	7.19100378E-03	1.0E-04%
t=30s Point 1	VARI_ELGA	V2	3.70095175E+02	1.0E-04%
t=40s Point 1	VARI_ELGA	V2	3.70095175E+02	1.0E-04%
t=50s Point 1	VARI_ELGA	V2	3.70095175E+02	1.0E-04%
t=60s Point 1	VARI_ELGA	V2	1.29783675E+03	1.0E-04%
t=70s Point 1	VARI_ELGA	V2	1.29783675E+03	1.0E-04%
t=80s Point 1	VARI_ELGA	V2	1.29783675E+03	1.0E-04%
t=90s Point 1	VARI_ELGA	V2	1.68614985E+03	1.0E-04%
t=60s Point 1	VARI_ELGA	V3	8.93510262E-04	1.0E-04%
t=70s Point 1	VARI_ELGA	V3	8.93510262E-04	1.0E-04%
t=80s Point 1	VARI_ELGA	V3	8.93510262E-04	1.0E-04%
t=90s Point 1	VARI_ELGA	V3	2.05844955E-03	1.0E-04%

## 4.5 Grandeurs testées et résultats

Identification	Champ	Grandeur	Référence	Tolérance
t=10s Point 1	SIEF_ELGA	SIYY	2.53993074E+02	1.0E-04%
t=20s Point 1	SIEF_ELGA	SIYY	-1.85047588E+02	1.0E-04%
t=30s Point 1	SIEF_ELGA	SIYY	-3.17047588E+02	1.0E-04%
t=40s Point 1	SIEF_ELGA	SIYY	5.97508271E+02	1.0E-04%
t=50s Point 1	SIEF_ELGA	SIYY	-5.00132868E+02	1.0E-04%
t=60s Point 1	SIEF_ELGA	SIYY	-4.10813416E+02	1.0E-04%
t=70s Point 1	SIEF_ELGA	SIYY	6.91429029E+02	1.0E-04%
t=80s Point 1	SIEF_ELGA	SIYY	-4.10813416E+02	1.0E-04%
t=90s Point 1	SIEF_ELGA	SIYY	-2.76944958E+02	1.0E-04%
t=10s Point 1	VARI_ELGA	V1	1.78617408E-03	1.0E-04%
t=20s Point 1	VARI_ELGA	V1	5.56276438E-03	1.0E-04%
t=30s Point 1	VARI_ELGA	V1	5.56276438E-03	1.0E-04%
t=40s Point 1	VARI_ELGA	V1	6.48743752E-03	1.0E-04%
t=50s Point 1	VARI_ELGA	V1	6.48743752E-03	1.0E-04%
t=60s Point 1	VARI_ELGA	V1	6.54594319E-03	1.0E-04%
t=70s Point 1	VARI_ELGA	V1	6.54594319E-03	1.0E-04%
t=80s Point 1	VARI_ELGA	V1	6.54594319E-03	1.0E-04%
t=90s Point 1	VARI_ELGA	V1	6.54594319E-03	1.0E-04%
t=30s Point 1	VARI_ELGA	V2	4.81325700E+02	1.0E-04%
t=40s Point 1	VARI_ELGA	V2	4.81325700E+02	1.0E-04%
t=50s Point 1	VARI_ELGA	V2	4.81325700E+02	1.0E-04%
t=60s Point 1	VARI_ELGA	V2	1.51649548E+03	1.0E-04%
t=70s Point 1	VARI_ELGA	V2	1.51649548E+03	1.0E-04%
t=80s Point 1	VARI_ELGA	V2	1.51649548E+03	1.0E-04%
t=90s Point 1	VARI_ELGA	V2	2.17700281E+03	1.0E-04%
t=60s Point 1	VARI_ELGA	V3	1.54948645E-03	1.0E-04%
t=70s Point 1	VARI_ELGA	V3	1.54948645E-03	1.0E-04%
t=80s Point 1	VARI_ELGA	V3	1.54948645E-03	1.0E-04%
t=90s Point 1	VARI_ELGA	V3	3.53100844E-03	1.0E-04%
t=30s Point 1	VARI_ELGA	V4	6.66666667E-04	1.0E-04%
t=40s Point 1	VARI_ELGA	V4	6.66666667E-04	1.0E-04%
t=50s Point 1	VARI_ELGA	V4	6.66666667E-04	1.0E-04%
t=60s Point 1	VARI_ELGA	V4	1.82355044E-03	1.0E-04%
t=70s Point 1	VARI_ELGA	V4	1.82355044E-03	1.0E-04%
t=80s Point 1	VARI_ELGA	V4	1.82355044E-03	1.0E-04%
t=90s Point 1	VARI_ELGA	V4	3.12896911E-03	1.0E-04%

## 5 Commentaires

---

Ces cas tests permettent de valider la loi de comportement IRRAD3M par non-régression.