# SSNV257 – Validation de la loi d'endommagement GTN à gradient avec des simulations des essais sur éprouvettes entaillées

**Résumé :**

Ce cas-test permet de valider l'algorithme d'intégration de la loi d'endommagement de Gurson – Tvergaard – Needleman ( $GTN$ ) à gradient avec les éléments finis standard sous-intégrés ou mixtes en grandes déformations. On y modélise une éprouvette entaillée (AE) en traction simple.

Les différentes modélisations traitées sont :

- **Modélisation A** ( $2D$ ) : AXIS_GRAD_VARI
- **Modélisation B** ( $2D$ ) : AXIS_GRAD_INCO



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

# 1 Problème de référence

## 1.1 Géométrie

Une éprouvette entaillée (AE ou en anglais NT) est modélisée. La dimension de celle-ci est donnée dans la Figure 1.1-1.

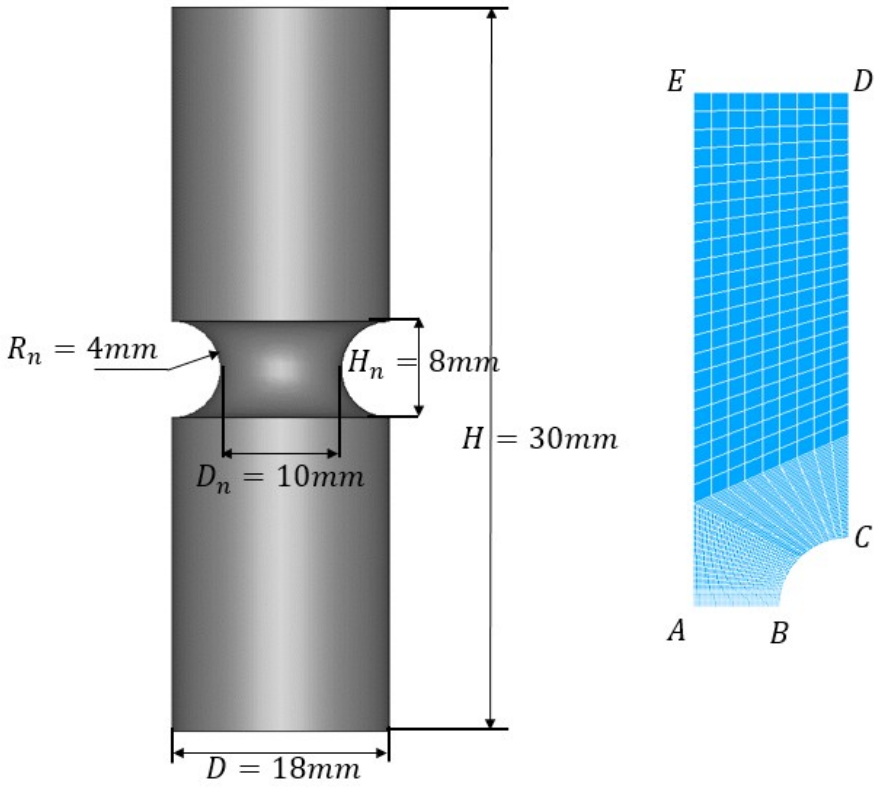



**Figure 1.1-a: Géométrie et Maillage de l'éprouvette AE4**

## 1.2 Propriétés du matériau

Élasticité :

| | |
|---|---|
| $E = 190\,000$ MPa | Module d'Young |
| $\nu = 0.3$ | Coefficient de Poisson |

Courbe d'écrouissage :

$$R(\kappa) = 488.36 + 57.13\left(1 - \exp(-8613\,\kappa)\right) + 238.73\left(1 - \exp(-10.39\,\kappa)\right)$$



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

Loi d'endommagement ductile GTN :

| | |
|---|---|
| $q_1=1.5$ | Paramètre du modèle GTN |
| $q_2=1.07$ | Paramètre du modèle GTN |
| $f_0=0.0002$ | Porosité initial |
| $f_n=0$ | Paramètre de germination |
| $f_c=0.05$ | Porosité de coalescence |
| $\delta=3$ | Coefficient d'accélération lié à la coalescence |
| $c=1\ N$ | Paramètre non local |
| $r=5000\ MPa$ | Paramètre de pénalisation de Lagrange |

Dans DEFI_MATERIAU, les informations suivantes doivent être renseignées :

| **ELAS** | **ECRO_NL** | **GTN** | **NON_LOCAL** |
|---|---|---|---|
| E = 190000 | R0 = 488.361123569 | Q1 = 1.5 | C_GRAD_VARI = 1 |
| NU = 0. 3 | R1 = 57.1333673502 | Q2 = 1.07 | PENA_LAGR =5000 |
| | GAMMA_1 = 8613 | PORO_INIT = 0.0002 | |
| | R2 = 238.731127339 | COAL_PORO = 0.05 | |
| | GAMMA_2=10.386585592 | COAL_ACCE = 3 | |

## 1.3 Conditions aux limites et chargements

Pour la modélisation $2D$ (axisymétrique), les déplacements verticaux pour le côté $DE$ sont contrôlés : $u_x=2\,mm$ , les déplacements horizontaux pour le côté $AE$ et les déplacements verticaux pour le côté $AB$ sont bloqués en raison de la symétrie. (voir Figure 1.1-1 pour la géométrie et le maillage de l'AE4).

Le chargement est imposé à l'aide de 500 pas de temps identiques. Le pseudo-temps de calcul est 1.



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

# 2 Solution de référence

## 2.1 Résultats de référence

Les solutions de référence sont obtenues en réalisant les mêmes calculs dans le code de calcul par éléments finis Z-set (développé par Mines ParisTech et l'ONERA).



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

# 3 Modélisation A

## 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation AXIS_GRAD_VARI.

## 3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est obtenu par SALOME.
Nombre de nœuds : 4596.
Nombre et types de mailles : 1469 QUAD8.

## 3.3 Grandeurs testées et résultats

On récupère les valeurs suivantes à l'instant 0.1 : la contrainte $\sigma_{yy}$ ('SIEF_ELGA', 'SIYY'), la variable d'écrouissage $\kappa$ ('VARI_ELGA', 'V1') et la porosité $f$ ('VARI_ELGA', 'V2') de deux points d'intégration. Le premier point d'intégration est celui le plus proche du nœud $A$ (on le note $G1$), le deuxième est celui se situant au milieu du côté $AB$ (on le note $G2$).

Le tableau suivant rassemble les valeurs obtenues par le logiciel de calcul par éléments finis Z-set.

| INST | Point d'intégration | Identification | Valeur de référence | Type | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.1 | G1 | SIYY | 1202.612 | SOURCE EXTERNE | RELATIF – 1% |
| 0.1 | G2 | SIYY | 1051.092 | SOURCE EXTERNE | RELATIF – 1% |
| 0.1 | G1 | V1 | 0.06721424 | SOURCE EXTERNE | RELATIF – 1% |
| 0.1 | G2 | V1 | 0.06932525 | SOURCE EXTERNE | RELATIF – 1% |
| 0.1 | G1 | V2 | 0.0003293419 | SOURCE EXTERNE | RELATIF – 1% |
| 0.1 | G2 | V2 | 0.0002808173 | SOURCE EXTERNE | RELATIF – 1% |



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

# 4 Modélisation B

## 4.1 Caractéristiques de la modélisation

M odélisation AXIS _ GRAD_ INCO .

## 4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est obtenu par SALOME.
Nombre de nœuds : 4596.
Nombre et types de mailles : 1469 QUAD8.

## 4.3 Grandeurs testées et résultats

On récupère les valeurs suivantes à l'instant 0.1 : la contrainte $\sigma_{yy}$ ('SIEF_ELGA', 'SIYY') , la variable d'écrouissage $\kappa$ ('VARI_ELGA', 'V1') et la porosité $f$ ('VARI_ELGA', 'V2') de deux points d'intégration. Le premier point d'intégration est celui le plus proche du nœud $A$ (on le note $G1$ ), le deuxième est celui se situant au milieu du côté $AB$ (on le note $G2$ ).

Le tableau suivant rassemble les valeurs obtenues par le logiciel de calcul par éléments finis Z-set.

| INST | Point d'intégration | Identification | Valeur de référence | Type | Tolérance |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.1 | G1 | SIYY | 1202.582 | SOURCE EXTERNE | RELATIF – 1% |
| 0.1 | G2 | SIYY | 1051.101 | SOURCE EXTERNE | RELATIF – 1% |
| 0.1 | G1 | V1 | 0.06721325 | SOURCE EXTERNE | RELATIF – 1% |
| 0.1 | G2 | V1 | 0.06932499 | SOURCE EXTERNE | RELATIF – 1% |
| 0.1 | G1 | V2 | 0.0003293342 | SOURCE EXTERNE | RELATIF – 1% |
| 0.1 | G2 | V2 | 0.0002808168 | SOURCE EXTERNE | RELATIF – 1% |



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

# 5 Synthèse des résultats

Ce cas-test est réalisé sur une éprouvette entaillée en axisymétrique. Les solutions de référence sont obtenues en réalisant les mêmes calculs dans le code de calcul par éléments finis Z-set (développé par Mines ParisTech et l'ONERA). On a un bon accord entre les résultats calculés et les solutions de référence.



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