SSNV253 – Validation élémentaire de la loi d'endommagement GTN en déformation plane avec des simulations d'un élément volume en cisaillement pur

Résumé :

Ce cas-test permet de valider l'algorithme d'intégration de la loi d'endommagement de Gurson – Tvergaard – Needleman (GTN) local et à gradient avec les éléments finis standard sous-intégrés ou mixtes en grandes déformations. On y modélise un élément volume en cisaillement pur.

Les différentes modélisations traitées sont :

- **Modélisation A** ($2D$) : D_PLAN_SI.
- **Modélisation B** ($2\mathrm{D}$) : D_PLAN_GRAD_VARI.
- **Modélisation C** ($2\mathrm{D}$) : D_PLAN_GRAD_INCO.
- **Modélisation D** ($3D$) : 3D_SI.
- **Modélisation E** ($3\mathrm{D}$) : 3D_GRAD_VARI.
- **Modélisation F** ($3\mathrm{D}$) : 3D_GRAD_INCO.
- **Modélisation G** ($2\mathrm{D}$) : D_PLAN_GRAD_HHO - LINEAIRE
- **Modélisation H** ($3D$) : D_PLAN_GRAD_HHO - QUADRATIQUE
- **Modélisation I** ($3\mathrm{D}$) : 3D_GRAD_HHO - LINEAIRE

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Selon la modélisation $2\mathrm{D}$ (déformation plane) ou $3\mathrm{D}$, on considère respectivement un carré ou un cube de côté 0.05 mm (voir Figure. 1.1-1). En raison de la symétrie, seul un quart de la géométrie est représenté.

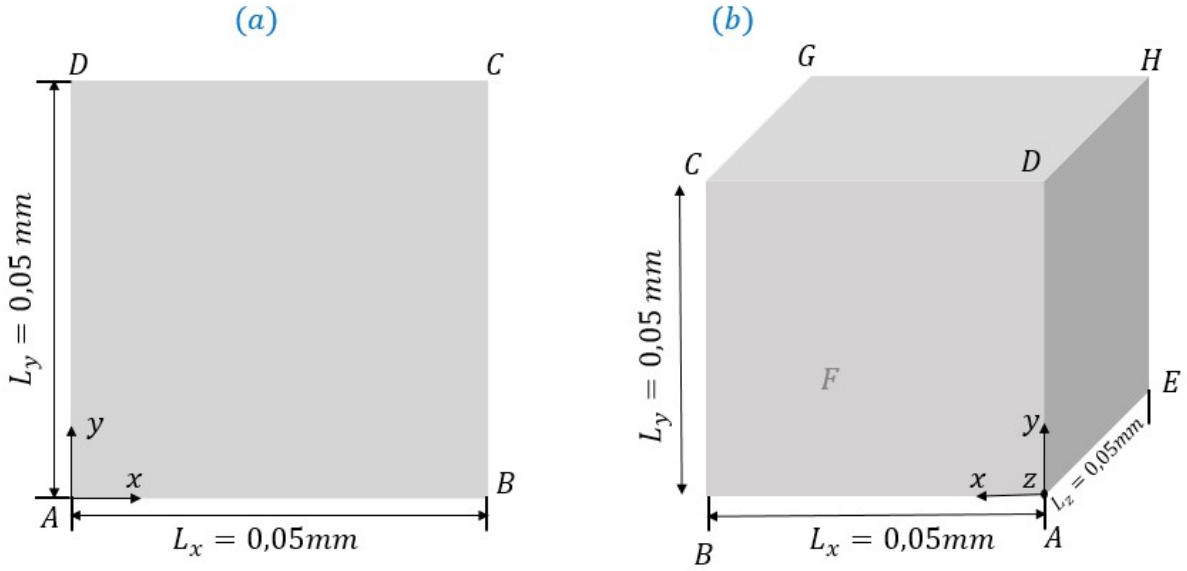


Figure 1.1-a: Géométries d'un carré (a) et d'un cube (b)

1.2 Propriétés du matériau

Élasticité :

$E=190\,000\ \mathrm{MPa}$	Module d'Young
$\nu=0.3$	Coefficient de Poisson

Courbe d'écrouissage :

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

Loi d'endommagement ductile GTN :

$q_1=1.5$	Paramètre du modèle GTN
$q_2=1.07$	Paramètre du modèle GTN
$f_0=0.01$	Porosité initial
$f_n=0$	Paramètre de germination
$f_c=0.05$	Porosité de coalescence
$\delta=3$	Coefficient d'accélération lié à la coalescence
$c=2.22\ N$	Paramètre non local
$r=5000\ MPa$	Paramètre de pénalisation de Lagrange

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

En particulière, le paramètre non local c et le paramètre de pénalisation r ne sont utilisés que dans la loi de GTN à gradient.

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 = 2.22
NU = 0. 3	R1 = 57.1333673502	Q2 = 1.07	PENA_LAGR =5000
	GAMMA_1 = 8613	PORO_INIT = 0.01	
	R2 = 238.731127339	COAL_PORO = 0.05	
	GAMMA_2=10.386585592	COAL_ACCE = 3	

1.3 Conditions aux limites et chargements

Pour la modélisation $2D$ (déformation plane), les déplacements horizontaux et les déplacements verticaux de tous les nœuds sont contrôlés : $u_x=(\cosh(t)-1)x+\sinh(t)y$ et $u_y=\sinh(t)x+(\cosh(t)-1)y$ (voir Figure 1.1-1(a) pour la géométrie). Ici, t désigne l'instant de calcul.

Pour la modélisation $3D$, les déplacements selon l'axe X et les déplacements selon l'axe Y de tous les nœuds sont contrôlés : $u_x=(\cosh(t)-1)x+\sinh(t)y$ et $u_y=\sinh(t)x+(\cosh(t)-1)y$, les déplacements selon l'axe Z sont bloqués (voir Figure 1.1-1(b) pour la géométrie).

Les conditions aux limites et les chargements sont imposés de cette façon de sorte que le problème en $2D$ et celui en $3D$ soient identiques entre eux et homogènes.

Le chargement est imposé à l'aide de 1000 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 D_PLAN_SI .

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est obtenu par SALOME.
Nombre de nœuds : 8.
Nombre et types de mailles : 1 QUAD8 , 4 SEG3 .

3.3 Grandeurs testées et résultats

Le problème considéré ici est homogène, les contraintes (ou les variables internes) sont donc identiques aux différents points de gauss.

On récupère les valeurs suivantes à l'instant 0.5 et 0.7 : la composante σ_{yy} du tenseur de contrainte ('SIEF_ELGA', 'SIYY') , la variable d'écrouissage κ ('VARI_ELGA', 'V1') et la porosité f ('VARI_ELGA', 'V2').

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

INST	Identification	Valeur de référence	Type	Tolérance
0.1	SIXY	403.4358	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	SIXY	445.9804	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.1	V1	0.1117156	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	V1	1.145363	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.1	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	V2	0.01	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

Modélisation D_PLAN_GRAD_VARI .

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8.
Nombre et types de mailles : 1 QUAD8 , 4 SEG3 .

4.3 Grandeurs testées et résultats

Le problème considéré ici est homogène, les contraintes (ou les variables internes) sont donc identiques aux différents points de gauss.

On récupère les valeurs suivantes à l'instant 0.5 et 0.7 : la composante σ_{yy} du tenseur de contrainte ('SIEF_ELGA', 'SIYY') , la variable d'écrouissage κ ('VARI_ELGA', 'V1') et la porosité f ('VARI_ELGA', 'V2').

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

INST	Identification	Valeur de référence	Type	Tolérance
0.1	SIXY	400.8297	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	SIXY	445.9803	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.1	V1	0.1059917	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	V1	1.145363	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.1	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation D_PLAN_GRAD_INCO .

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8.
Nombre et types de mailles : 1 QUAD8 , 4 SEG3 .

5.3 Grandeurs testées et résultats

Le problème considéré ici est homogène, les contraintes (ou les variables internes) sont donc identiques aux différents points de gauss.

On récupère les valeurs suivantes à l'instant 0.5 et 0.7 : la composante σ_{yy} du tenseur de contrainte ('SIEF_ELGA', 'SIYY') , la variable d'écrouissage κ ('VARI_ELGA', 'V1') et la porosité f ('VARI_ELGA', 'V2').

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

INST	Identification	Valeur de référence	Type	Tolérance
0.1	SIXY	403.4358	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	SIXY	445.9804	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.1	V1	0.1117156	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	V1	1.145363	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.1	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D_SI .

6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 20.
Nombre et types de mailles : 1 HEXA20 , 6 QUAD8 , 12 SEG3 .

6.3 Grandeurs testées et résultats

Le problème considéré ici est homogène et identique au problème A (modélisation A). Les contraintes (ou les variables internes) sont donc identiques aux différents points de gauss.

On récupère les valeurs suivantes à l'instant 0.5 et 0.7 : la composante σ_{yy} du tenseur de contrainte ('SIEF_ELGA', 'SIYY') , la variable d'écrouissage κ ('VARI_ELGA', 'V1') et la porosité f ('VARI_ELGA', 'V2').

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

INST	Identification	Valeur de référence	Type	Tolérance
0.1	SIXY	403.4358	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	SIXY	445.9804	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.1	V1	0.1117156	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	V1	1.145363	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.1	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%

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

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D_GRAD_VARI .

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 20.
Nombre et types de mailles : 1 HEXA20 , 6 QUAD8 , 12 SEG3 .

7.3 Grandeurs testées et résultats

Le problème considéré ici est homogène et identique au problème B (modélisation B). Les contraintes (ou les variables internes) sont donc identiques aux différents points de gauss.

On récupère les valeurs suivantes à l'instant 0.5 et 0.7 : la composante σ_{yy} du tenseur de contrainte ('SIEF_ELGA', 'SIYY') , la variable d'écrouissage κ ('VARI_ELGA', 'V1') et la porosité f ('VARI_ELGA', 'V2').

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

INST	Identification	Valeur de référence	Type	Tolérance
0.1	SIXY	400.8297	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	SIXY	445.9803	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.1	V1	0.1059917	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	V1	1.145363	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.1	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
1.0	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%

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

8 Modélisation F

8.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D_GRAD_INCO .

8.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 20.
Nombre et types de mailles : 1 HEXA20 , 6 QUAD8 , 12 SEG3 .

8.3 Grandeurs testées et résultats

Le problème considéré ici est homogène et identique au problème C (modélisation C). les contraintes (ou les variables internes) sont donc identiques aux différents points de gauss.

On récupère les valeurs suivantes à l'instant 0.5 et 0.7 : la composante σ_{yy} du tenseur de contrainte ('SIEF_ELGA', 'SIYY') , la variable d'écrouissage κ ('VARI_ELGA', 'V1') et la porosité f ('VARI_ELGA', 'V2').

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

INST	Identification	Valeur de référence	Type	Tolérance
0.5	SIYY	403.4358	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.7	SIYY	445.9804	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.5	V1	0.1117156	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.7	V1	1.145363	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.5	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.7	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%

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

9 Modélisation G

9.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation D_PLAN_GRAD_HHO - LINEAIRE .

9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8.
Nombre et types de mailles : 1 QUAD8 , 4 SEG3 .

9.3 Grandeurs testées et résultats

Le problème considéré ici est homogène, les contraintes (ou les variables internes) sont donc identiques aux différents points de gauss.

On récupère les valeurs suivantes à l'instant 0.5 et 0.7 : la composante σ_{yy} du tenseur de contrainte ('SIEF_ELGA', 'SIYY') , la variable d'écrouissage κ ('VARI_ELGA', 'V1') et la porosité f ('VARI_ELGA', 'V2').

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

INST	Identification	Valeur de référence	Type	Tolérance
0.1	SIXY	400.8297	SOURCE EXTERNE	RELATIF - 1%
1.0	SIXY	445.9803	SOURCE EXTERNE	RELATIF - 1%
0.1	V1	0.1059917	SOURCE EXTERNE	RELATIF - 1%
1.0	V1	1.145363	SOURCE EXTERNE	RELATIF - 1%
0.1	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF - 1%
1.0	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF - 1%

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

10 Modélisation H

10.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation D_PLAN_GRAD_HHO - QUADRATIQUE .

10.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8.
Nombre et types de mailles : 1 QUAD8 , 4 SEG3 .

10.3 Grandeurs testées et résultats

Le problème considéré ici est homogène, les contraintes (ou les variables internes) sont donc identiques aux différents points de gauss.

On récupère les valeurs suivantes à l'instant 0.5 et 0.7 : la composante σ_{yy} du tenseur de contrainte ('SIEF_ELGA', 'SIYY') , la variable d'écrouissage κ ('VARI_ELGA', 'V1') et la porosité f ('VARI_ELGA', 'V2').

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

INST	Identification	Valeur de référence	Type	Tolérance
0.1	SIXY	400.8297	SOURCE EXTERNE	RELATIF - 1%
1.0	SIXY	445.9803	SOURCE EXTERNE	RELATIF - 1%
0.1	V1	0.1059917	SOURCE EXTERNE	RELATIF - 1%
1.0	V1	1.145363	SOURCE EXTERNE	RELATIF - 1%
0.1	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF - 1%
1.0	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF - 1%

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

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

11 Modélisation I

11.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D_GRAD_HHO - LINEAIRE .

11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 20.
Nombre et types de mailles : 1 HEXA20 , 6 QUAD8 , 12 SEG3 .

11.3 Grandeurs testées et résultats

Le problème considéré ici est homogène et identique au problème C (modélisation C). les contraintes (ou les variables internes) sont donc identiques aux différents points de gauss.

On récupère les valeurs suivantes à l'instant 0.5 et 0.7 : la composante σ_{yy} du tenseur de contrainte ('SIEF_ELGA', 'SIYY') , la variable d'écrouissage κ ('VARI_ELGA', 'V1') et la porosité f ('VARI_ELGA', 'V2').

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

INST	Identification	Valeur de référence	Type	Tolérance
0.5	SIYY	403.4358	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.7	SIYY	445.9804	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.5	V1	0.1117156	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.7	V1	1.145363	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.5	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%
0.7	V2	0.01	SOURCE EXTERNE	RELATIF – 1%

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

12 Synthèse des résultats

Ce cas-test est réalisé sur une seule maille en $2D$ déformation plane ou en $3D$. Avec les conditions aux limites et les chargements donnés, la réponse devient purement homogène. 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 une bonne concordance entre les résultats calculés et les solutions de référence.

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