-

SSNP123 - Plaque entaillée en élastoplasticité

Résumé :

Ce test en déformations planes quasi-statique permet d'illustrer les questions relatives à l'incompressibilité lors de l'utilisation d'une loi de comportement élastoplastique : quand le taux de plasticité devient important, des oscillations non physiques de contraintes peuvent apparaître. On montre que l'utilisation d'éléments QUAD4 et HEXA8 sous intégrés peut permettre de pallier ce problème.

Il s'agit d'une plaque rectangulaire entaillée constituée d'un matériau élastoplastique avec écrouissage isotrope qui est soumise à une traction à ses extrémités. On s'intéresse à la solution élastoplastique en charge.

La modélisation A correspond à l'utilisation des éléments QUAD4 sous intégrés stabilisés par la méthode « assumed strain ».

La modélisation B correspond à l'utilisation des éléments QUAD8 incompressibles qui permettent d'obtenir une solution de référence pour la modélisation A.

La modélisation C correspond à l'utilisation des éléments HEXA8 sous intégrés stabilisés par la méthode « assumed strain ».

La modélisation D correspond à l'utilisation des éléments HEXA20 incompressibles qui permettent d'obtenir une solution de référence pour la modélisation C.

Par ailleurs, les modélisations E à J vérifient les éléments HHO et leur robustesse à la limite incompressible.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Ce calcul s'appuie sur la modélisation d'une éprouvette entaillée sollicitée par un déplacement imposé.

1.2 Propriétés de matériaux

Comportement élastoplastique à écrouissage isotrope :

$E = 200\,GPa$
$\nu = 0.4999$

$\sigma_y = 200\,MPa$
$E_T = 1000\,MPa$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Sur BD : $DY = 0.$
Sur DF : $DX = 0.$
Sur FG : $DY = 0.1$

2 Solution de référence

La solution de référence de la modélisation A (respectivement modélisation C) est donnée par la modélisation B (respectivement modélisation D) réalisée avec des éléments quasi-incompressibles.

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

3 Modélisation A

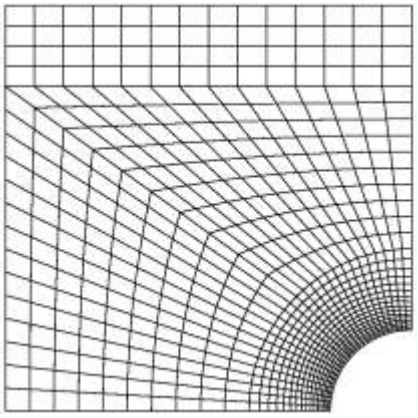
3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation C_PLAN avec des éléments QUAD4 sous intégrés stabilisés par la méthode assumed strain.

3.2 Caractéristiques du maillage

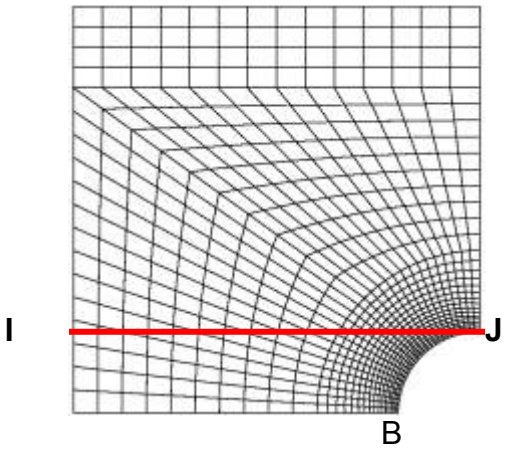
Nombre de nœuds : 527

Nombre de mailles : 582
SEG2 : 102
QUAD4 : 480



3.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la coordonnée $SIYY$ du tenseur des contraintes en différents points du chemin IJ



On teste par rapport à la modélisation B (AUTRE_ASTER) :

Abscisse Curviligne	Référence	Précision	Test
0.0	234.174	4×10^{-3}	AUTRE_ASTER
1.0	241.964	8×10^{-3}	AUTRE_ASTER
3.0	298.027	4×10^{-3}	AUTRE_ASTER

Par ailleurs, on teste (en non-régression) :
- ERME_ELEM et ERME_ELNO (erreur en résidu)
- La contrainte SIXX et SIYY au nœud B

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

On reprend le maillage précédent que l'on passe en éléments quadratiques dans le but d'utiliser la modélisation D_PLAN_INCO_UPG (éléments adaptés aux problèmes incompressibles).

4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1533

Nombre de mailles : 582
SEG3 : 102
QUAD8 : 480

4.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la coordonnée $SIYY$ du tenseur des contraintes en différents points du chemin IJ en non régression.

Abscisse Curviligne	Référence
0.0	234.174
1.0	241.964
3.0	298.027

Par ailleurs, on teste (en non-régression) :
- ERME_ELEM et ERME_ELNO (erreur en résidu)
- La contrainte SIXX et SIYY au nœud B

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D_SI avec des éléments HEXA8 sous intégrés stabilisés par la méthode assumed strain. Le maillage utilisé est une extrusion du maillage de la modélisation A sur une hauteur de $0,1\,m$ avec un seul élément dans l'épaisseur. Tous les degrés de liberté sont bloqués selon Z afin de se rapprocher de l'hypothèse des déformations planes utilisée dans les modélisations A et B.

5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1054

Nombre de mailles : 1731
QUAD4 : 1052
HEXA8 : 480

5.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la coordonnée $SIYY$ du tenseur des contraintes en différents points du chemin IJ par rapport à la modélisation D (AUTRE_ASTER) :

Abscisse Curviligne	Référence	Précision	Test
0.0	234.122	1×10^{-2}	AUTRE_ASTER
1.53224	256.988	1×10^{-2}	AUTRE_ASTER
3.26890	300.287	1×10^{-2}	AUTRE_ASTER
3.80797	267.555	1×10^{-2}	AUTRE_ASTER
4.40378	183.498	1×10^{-2}	AUTRE_ASTER

Par ailleurs, on teste (en non-régression) :
- ERME_ELEM et ERME_ELNO (erreur en résidu)
- La contrainte SIXX et SIYY au nœud B

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

On reprend le maillage précédent que l'on passe en éléments quadratiques dans le but d'utiliser la modélisation 3D_INCO_UPG (éléments adaptés aux problèmes incompressibles).

6.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1054

Nombre de mailles : 1731
SEG3 : 199
QUAD8 : 1052
HEXA20 : 480

6.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la coordonnée $SIYY$ du tenseur des contraintes en différents points du chemin IJ en non régression.

Abscisse Curviligne	Référence	Test
0.0	234.122	NON_REGRESSION
1.53224	256.988	NON_REGRESSION
3.26890	300.287	NON_REGRESSION
3.80797	267.555	NON_REGRESSION
4.40378	183.498	NON_REGRESSION

Par ailleurs, on teste (en non-régression) :
- ERME_ELEM et ERME_ELNO (erreur en résidu)
- La contrainte SIXX et SIYY au nœud B

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

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

On reprend le maillage précédent que l'on passe en éléments quadratiques dans le but d'utiliser la modélisation D_PLAN_HHO_121 et D_PLAN_HHO_222 (éléments adaptés aux problèmes incompressibles).

7.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1533

Nombre de mailles : 582
SEG3 : 102
QUAD8 : 480

7.3 Grandeurs testées et résultats

On teste par rapport à la modélisation B (AUTRE_ASTER) :

Abscisse Curviligne	Référence	Précision	Test
0.0	234.174	4×10^{-3}	AUTRE_ASTER
1.0	241.964	7×10^{-3}	AUTRE_ASTER
3.0	298.027	4×10^{-3}	AUTRE_ASTER

Par ailleurs, on teste (en non-régression) :
- La contrainte SIXX et SIYY au nœud B

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

8 Modélisation F

8.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D_HHO_121 avec des éléments HEXA27. Le maillage utilisé est une extrusion du maillage de la modélisation A sur une hauteur de $0,1\,m$ avec un seul élément dans l'épaisseur. Tous les degrés de liberté sont bloqués selon Z afin de se rapprocher de l'hypothèse des déformations planes utilisée dans les modélisations A et B.

8.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles : 1731
QUAD9 : 1052
HEXA27 : 480

8.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la coordonnée $SIYY$ du tenseur des contraintes en différents points du chemin IJ par rapport à la modélisation B.

Abscisse Curviligne	Référence	Précision	Test
0.0	234.122	3×10^{-2}	AUTRE_ASTER
1.53224	256.988	2×10^{-2}	AUTRE_ASTER
3.26890	300.287	1×10^{-2}	AUTRE_ASTER
3.80797	267.555	1×10^{-2}	AUTRE_ASTER
4.40378	183.498	0,33	AUTRE_ASTER

Par ailleurs, on teste (en non-régression) :
- La contrainte SIXX et SIYY au nœud B

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

9 Modélisation G

9.1 Caractéristiques de la modélisation

On reprend le maillage précédent que l'on passe en éléments quadratiques dans le but d'utiliser la modélisation D_PLAN_HHO_121 et D_PLAN_HHO_222 (éléments adaptés aux problèmes incompressibles). Le comportement est GDEF_LOG.

9.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 1533
Nombre de mailles : 582
SEG3 : 102
QUAD8 : 480

9.3 Grandeurs testées et résultats

On teste par rapport à la modélisation B (AUTRE_ASTER) :

Abscisse Curviligne	Référence	Précision	Test
0.0	234.174	0,022	AUTRE_ASTER
1.0	241.964	0,02	AUTRE_ASTER
3.0	298.027	0,01	AUTRE_ASTER

Par ailleurs, on teste (en non-régression) :
- La contrainte SIXX et SIYY au nœud B

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

10 Modélisation H

10.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation 3D_HHO_121 et 3D_HHO_222 avec des éléments HEXA27. Le maillage utilisé est une extrusion du maillage de la modélisation A sur une hauteur de $0,1\,m$ avec un seul élément dans l'épaisseur. Tous les degrés de liberté sont bloqués selon Z afin de se rapprocher de l'hypothèse des déformations planes utilisée dans les modélisations A et B. Le comportement est GDEF_LOG.

10.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles : 1731
QUAD9 : 1052
HEXA27 : 480

10.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la coordonnée $SIYY$ du tenseur des contraintes en différents points du chemin IJ. On teste par rapport à la modélisation B (AUTRE_ASTER).

Abscisse Curviligne	Référence	Précision	Test
0.0	234.122	3×10^{-2}	AUTRE_ASTER
1.53224	256.988	2×10^{-2}	AUTRE_ASTER
3.26890	300.287	2×10^{-2}	AUTRE_ASTER
3.80797	267.555	1×10^{-2}	AUTRE_ASTER
4.40378	183.498	1×10^{-1}	AUTRE_ASTER

Par ailleurs, on teste (en non-régression) :
- La contrainte SIXX et SIYY au nœud B

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

11 Modélisation I

11.1 Caractéristiques de la modélisation

On reprend le maillage précédent que l'on passe en éléments quadratiques dans le but d'utiliser la modélisation D_PLAN_HHO_121 et D_PLAN_HHO_222 (éléments adaptés aux problèmes incompressibles). Le comportement est GDEF_LOG.

11.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles : 690 TRIA6

11.3 Grandeurs testées et résultats

On teste la coordonnée $SIYY$ du tenseur des contraintes en différents points du chemin IJ en non régression. On teste par rapport à la modélisation B (AUTRE_ASTER) :

Abscisse Curviligne	Référence	Précision	Test
0.0	234.174	0,004	AUTRE_ASTER
1.0	241.964	0,004	AUTRE_ASTER
3.0	298.027	0,004	AUTRE_ASTER

Par ailleurs, on teste (en non-régression) :
La contrainte SIXX et SIYY au nœud B

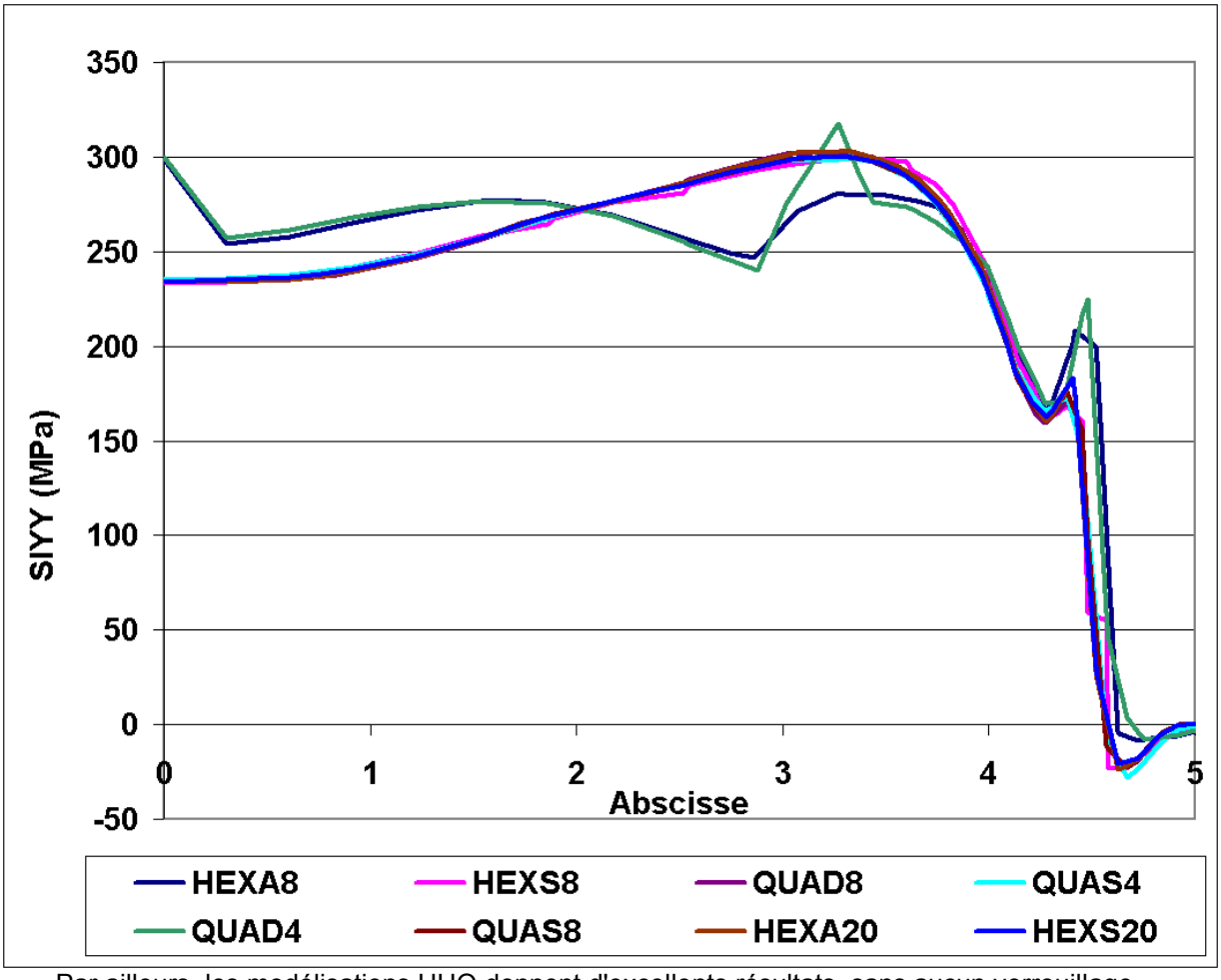
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

12 Synthèse des résultats

Les résultats obtenus à l'aide des différents éléments sous intégrés stabilisés par la méthode « assumed strain » sont très proches des résultats fournis par les éléments quadratiques incompressibles, comme on peut le constater sur le graphe ci-dessous. Ce graphe rassemble les résultats pour différents éléments :

HEXA8	éléments HEXA8 classiques
QUAD4	éléments QUAD4 classiques
HEXA20	éléments HEXA20 quadratiques
HEXS20	éléments HEXA20 quadratiques incompressibles
HEXS8	éléments HEXA8 sous intégrés
QUAD8	éléments QUAD8 quadratiques
QUAS8	éléments QUAD8 quadratiques incompressibles
QUAS4	éléments QUAD4 sous intégrés

On constate ainsi la bonne qualité de la solution donnée par les éléments sous intégrés et la disparition des oscillations de contraintes données par les éléments classiques linéaires.



Par ailleurs, les modélisations HHO donnent d'excellents résultats, sans aucun verrouillage

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