SSNP303 - Élément en contrainte plane et traction - Plasticité parfaite

Résumé :

Ce test de mécanique quasi-statique non linéaire $2D$ consiste à charger trois éléments de plaque superposés (type d'élément MECPQU4). Les 4 nœuds sont communs aux 3 éléments. Les éléments ont des propriétés différentes (plasticité parfaite) pour obtenir une courbe de traction convenable. Ce test est tiré du guide NAFEMS.

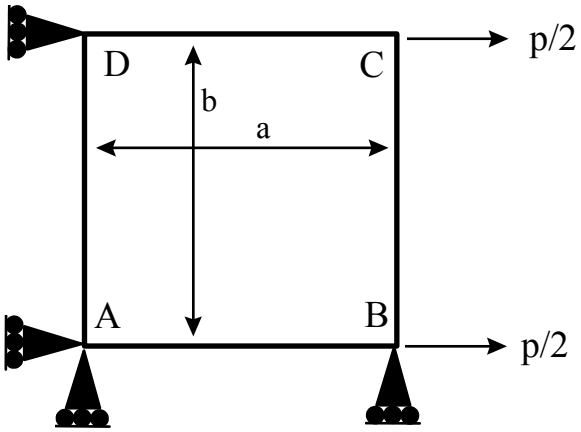
Le but est de comparer les différentes méthodes de type Newton-Raphson permettant de résoudre le système d'équations non linéaires (NEWTON : (MATRICE 'ELASTIQUE') et NEWTON : (MATRICE 'TANGENTE') avec REAC_INCR et REAC_ITER). Le critère de convergence choisi correspond à 0.01% de la force résiduelle (RESI_GLOB_RELA).

La modélisation est effectuée avec des éléments plans de type MECPQU4.

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

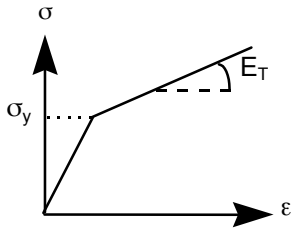
1 Problème de référence

1.1 Géométrie



$a = b = 1.0$

1.2 Propriétés de matériaux



	Matériau 1	Matériau 2	Matériau 3
	E = 100000 MPa	E = 60000 MPa	E = 40000 MPa
	ν = 0.25	ν = 0.25	ν = 0.25
	σ_y = 3 MPa	σ_y = 6 MPa	σ_y = 8 MPa
	E_T = 0.0	E_T = 0.0	E_T = 0.0

1.3 Conditions aux limites et chargements

Point A : $u_x = 0.$
$u_y = 0.$
Point B : $u_y = 0.$
Point D : $u_x = 0.$

Chargement par une force $P/2$ sur le point B et C. La force P est augmentée en 6 étapes de la manière suivante :

Force P	3.00	6.00	9.00	12.95	15.00	16.93

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Les résultats considérés comme référence ont été obtenus par SAMCEF en utilisant 60 incréments pour chaque étape de chargement. Les caractéristiques des différentes méthodes de résolution sont les suivantes :

A Utilisation de la matrice élastique.
B Utilisation de la matrice tangente ; celle-ci n'est réévaluée qu'à la première itération de chaque incrément (REAC_INCR = 1 et REAC_ITER = 0). Il s'agit de la méthode de Newton modifiée.
C Utilisation de la matrice tangente ; celle-ci est réévaluée à chaque itération de chaque incrément (REAC_INCR = 1 et REAC_ITER = 1). Il s'agit de la méthode de Newton classique.

2.2 Résultats de référence

Résultats obtenus avec 60 incréments pour chaque étape de chargement

	Elément 1		Elément 2		Elément 3	
Force	σ^{xx}	σ^{yy}	σ^{xx}	σ^{yy}	σ^{xx}	σ^{yy}
3.00	1.500000D+00	6.938894D–18	9.000000D–01	–1.040834D–17	6.000000D–01	–6.938894D–18
6.00	3.000000D+00	4.861944D–13	1.800000D+00	–2.081668D–17	1.200000D+00	–3.469447D–18
9.00	3.147155D+00	3.199571D–01	3.511707D+00	–1.900098D–01	2.341138D+00	–1.279828D–01
12.95	3.252919D+00	5.950074D–01	5.814267D+00	–3.523377D–01	3.878832D+00	–2.380030D–01
15.00	3.213822D+00	4.873069D–01	6.017834D+00	3.174572D–02	5.768340D+00	–5.231355D–01
16.93	3.2092970D+00	4.753345D–01	6.149462D+00	3.048490D–01	7.571241D+00	–7.863557D–01

2.3 Incertitude sur la solution

Incertitude inférieure à $1\ \%$.

2.4 Références bibliographiques

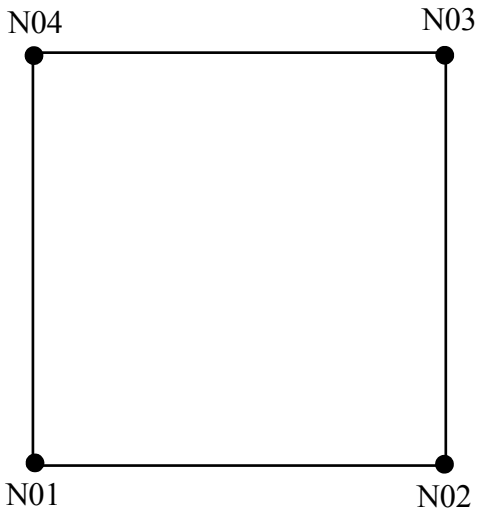
1) Fundamental tests for two and three dimensional, small strain, elastoplastic finite element analysis, 1987, NAFEMS

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation A

Utilisation des éléments QUAD4



Modélisation en contraintes planes : C_PLAN

Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

- DDL_IMPO : (Noeud NO1 DX = 0 , DY = 0)
  (Noeud NO2 DY = 0)
  (Noeud NO4 DX = 0)
- des forces imposées aux noeuds $NO2$ et $NO3$.

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles et types : 3 MECPQU4

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

3.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Instant	Référence	*Aster*	% différence
SIXX (maille 1)	1	1,500000E+00	1,500000E+00	0
SIYY (maille 1)	1	6,938894E–18	1,291047E–14	0
SIXX (maille 2)	1	9,000000E–01	9,000000E–01	0
SIYY (maille 2)	1	–1,040834E–17	–1,509903E–14	0
SIXX (maille 3)	1	6,000000E–01	6,000000E–01	0
SIYY (maille 3)	1	–6,938894E–18	–2,107830E–14	0
SIXX (maille 1)	2	3,000000E+00	3,000000E+00	0
SIYY (maille 1)	2	4,861944E–13	1,359551E–13	0
SIXX (maille 2)	2	1,800000E+00	1,800000E+00	0
SIYY (maille 2)	2	–2,081668E–17	–1,093097E–13	0
SIXX (maille 3)	2	1,200000E+00	1,200000E+00	0
SIYY (maille 3)	2	–3,469447E–18	–1,007126E–13	0
SIXX (maille 1)	3	3,147155E+00	3,145788E+00	–0,043
SIYY (maille 1)	3	3,199571E–01	3,167040E–01	–1,017
SIXX (maille 2)	3	3,511707E+00	3,512527E+00	0,023
SIYY (maille 2)	3	–1,900098E–01	–1,900224E–01	0,007
SIXX (maille 3)	3	2,341138E+00	2,341685E+00	0,023
SIYY (maille 3)	3	–1,279828E–01	–1,266816E–01	–1,017
SIXX (maille 1)	4	3,252919E+00	3,250728E+00	–0,067
SIYY (maille 1)	4	5,950074E–01	5,887464E–01	–1,052
SIXX (maille 2)	4	5,814267E+00	5,816159E+00	0,033
SIYY (maille 2)	4	–3,523377E–01	–3,521695E–01	–0,048
SIXX (maille 3)	4	3,878832E+00	3,882391E+00	0,092
SIYY (maille 3)	4	–2,380030E–01	–2,364650E–01	–0,646
SIXX (maille 1)	5	3,213822E+00	3,214367E+00	0,017
SIYY (maille 1)	5	4,873069E–01	4,887527E–01	0,297
SIXX (maille 2)	5	6,017834E+00	6,015985E+00	–0,031
SIYY (maille 2)	5	3,174572E–02	3,209818E–02	1,11
SIXX (maille 3)	5	5,768340E+00	5,769681E+00	0,023
SIYY (maille 3)	5	–5,231355E–01	–5,207413E–01	–0,458
SIXX (maille 1)	6	3,209297E+00	3,210194E+00	0,028
SIYY (maille 1)	6	4,753345E–01	4,777143E–01	0,501
SIXX (maille 2)	6	6,149462E+00	6,146791E+00	–0,043
SIYY (maille 2)	6	3,048490E–01	3,052330E–01	0,126
SIXX (maille 3)	6	7,571241E+00	7,572486E+00	0,016
SIYY (maille 3)	6	–7,863557E–01	–7,826545E–01	–0,471

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

3.4 Remarques

Pour obtenir une précision correcte, il faut imposer un nombre important d'incréments pour chaque étape de chargement (60 incréments).

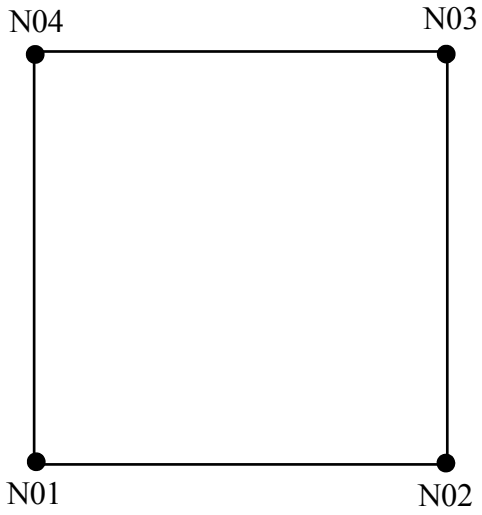
Le nombre d'itérations est égal à 411.

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation B

Utilisation des éléments QUAD4



4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles et types : 3 MECPQU4

Modélisation en contraintes planes : C_PLAN

Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

- DDL_IMPO : (Noeud NO1 DX = 0 , DY = 0)
  (Noeud NO2 DY = 0)
  (Noeud NO4 DX = 0)
- des forces imposées aux noeuds $NO2$ et $NO3$.

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

4.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Instant	Référence	*Aster*	% différence
SIXX (maille 1)	1	1,500000E+00	1,500000E+00	0.000
SIYY (maille 1)	1	6,938894E–18	1,351398E–14	0.000
SIXX (maille 2)	1	9,000000E–01	9,000000E–01	0.000
SIYY (maille 2)	1	–1,040834E–17	–2,142673E–14	0.000
SIXX (maille 3)	1	6,000000E–01	6,000000E–01	0.000
SIYY (maille 3)	1	–6,938894E–18	–2,924612E–14	0.000
SIXX (maille 1)	2	3,000000E+00	3,000000E+00	0.000
SIYY (maille 1)	2	4,861944E–13	9,617834E–14	0.000
SIXX (maille 2)	2	1,800000E+00	1,800000E+00	0.000
SIYY (maille 2)	2	–2,081668E–17	–8,301280E–14	0.000
SIXX (maille 3)	2	1,200000E+00	1,200000E+00	0.000
SIYY (maille 3)	2	–3,469447E–18	–9,360717E–14	0.000
SIXX (maille 1)	3	3,147155E+00	3,145788E+00	–0.043
SIYY (maille 1)	3	3,199571E–01	3,167038E–01	–1.017
SIXX (maille 2)	3	3,511707E+00	3,512527E+00	0.023
SIYY (maille 2)	3	–1,900098E–01	–1,900225E–01	0.007
SIXX (maille 3)	3	2,341138E+00	2,341685E+00	0.023
SIYY (maille 3)	3	–1,279828E–01	–1,266817E–01	–1.017
SIXX (maille 1)	4	3,252919E+00	3,250686E+00	–0.069
SIYY (maille 1)	4	5,950074E–01	5,886265E–01	–1.072
SIXX (maille 2)	4	5,814267E+00	5,816233E+00	0.034
SIYY (maille 2)	4	–3,523377E–01	–3,520332E–01	–0.086
SIXX (maille 3)	4	3,878832E+00	3,883081E+00	0.110
SIYY (maille 3)	4	–2,380030E–01	–2,365921E–01	–0.593
SIXX (maille 1)	5	3,213822E+00	3,214343E+00	0.016
SIYY (maille 1)	5	4,873069E–01	4,886891E–01	0.284
SIXX (maille 2)	5	6,017834E+00	6,015971E+00	–0.031
SIYY (maille 2)	5	3,174572E–02	3,207056E–02	1.023
SIXX (maille 3)	5	5,768340E+00	5,769686E+00	0.023
SIYY (maille 3)	5	–5,231355E–01	–5,207599E–01	–0.454
SIXX (maille 1)	6	3,209297E+00	3,210140E+00	0.026
SIYY (maille 1)	6	4,753345E–01	4,775720E–01	0.471
SIXX (maille 2)	6	6,149462E+00	6,146788E+00	–0.043
SIYY (maille 2)	6	3,048490E–01	3,052260E–01	0.124
SIXX (maille 3)	6	7,571241E+00	7,573072E+00	0.024
SIYY (maille 3)	6	–7,863557E–01	–7,827984E–01	–0.452

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

4.4 Remarques

Idem modélisation A concernant le nombre d'incréments sur la précision des résultats.

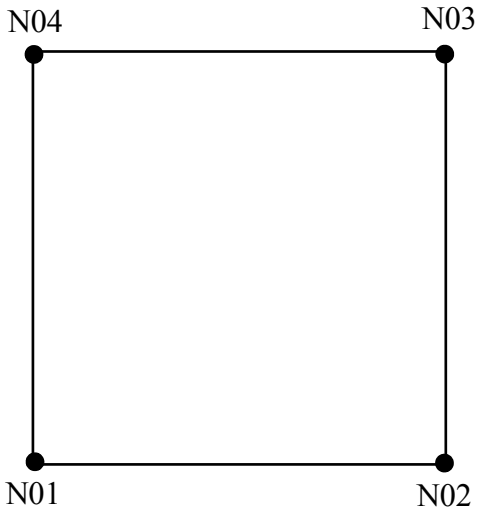
Le nombre d'itérations est égal à 361.

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation C

Utilisation des éléments QUAD4



5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4
Nombre de mailles et types : 3 MECPQU4

Modélisation en contraintes planes : C_PLAN

Le chargement et les conditions aux limites sont modélisés par :

- DDL_IMPO : (Noeud NO1 DX = 0 , DY = 0)
  (Noeud NO2 DY = 0)
  (Noeud NO4 DX = 0)
- des forces imposées aux nœuds $NO2$ et $NO3$.

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

5.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Instant	Référence	*Aster*	% différence
SIXX (maille 1)	1	1,500000E+00	1,500000E+00	0
SIYY (maille 1)	1	6,938894E–18	1,351398E–14	0
SIXX (maille 2)	1	9,000000E–01	9,000000E–01	0
SIYY (maille 2)	1	–1,040834E–17	–2,142673E–14	0
SIXX (maille 3)	1	6,000000E–01	6,000000E–01	0
SIYY (maille 3)	1	–6,938894E–18	–2,924612E–14	0
SIXX (maille 1)	2	3,000000E+00	3,000000E+00	0
SIYY (maille 1)	2	4,861944E–13	9,617834E–14	0
SIXX (maille 2)	2	1,800000E+00	1,800000E+00	0
SIYY (maille 2)	2	–2,081668E–17	–8,301280E–14	0
SIXX (maille 3)	2	1,200000E+00	1,200000E+00	0
SIYY (maille 3)	2	–3,469447E–18	–9,360717E–14	0
SIXX (maille 1)	3	3,147155E+00	3,145788E+00	–0,043
SIYY (maille 1)	3	3,199571E–01	3,167040E–01	–1,017
SIXX (maille 2)	3	3,511707E+00	3,512527E+00	0,023
SIYY (maille 2)	3	–1,900098E–01	–1,900224E–01	0,007
SIXX (maille 3)	3	2,341138E+00	2,341685E+00	0,023
SIYY (maille 3)	3	–1,279828E–01	–1,266816E–01	–1,017
SIXX (maille 1)	4	3,252919E+00	3,250686E+00	–0,069
SIYY (maille 1)	4	5,950074E–01	5,886268E–01	–1,072
SIXX (maille 2)	4	5,814267E+00	5,816233E+00	0,034
SIYY (maille 2)	4	–3,523377E–01	–3,520328E–01	–0,087
SIXX (maille 3)	4	3,878832E+00	3,883081E+00	0,11
SIYY (maille 3)	4	–2,380030E–01	–2,365919E–01	–0,593
SIXX (maille 1)	5	3,213822E+00	3,214343E+00	0,016
SIYY (maille 1)	5	4,873069E–01	4,886892E–01	0,284
SIXX (maille 2)	5	6,017834E+00	6,015971E+00	–0,031
SIYY (maille 2)	5	3,174572E–02	3,207066E–02	1,024
SIXX (maille 3)	5	5,768340E+00	5,769686E+00	0,023
SIYY (maille 3)	5	–5,231355E–01	–5,207598E–01	–0,454
SIXX (maille 1)	6	3,209297E+00	3,210140E+00	0,026
SIYY (maille 1)	6	4,753345E–01	4,775721E–01	0,471
SIXX (maille 2)	6	6,149462E+00	6,146788E+00	–0,043
SIYY (maille 2)	6	3,048490E–01	3,052262E–01	0,124
SIXX (maille 3)	6	7,571241E+00	7,573072E+00	0,024
SIYY (maille 3)	6	–7,863557E–01	–7,827982E–01	–0,452

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

5.4 Remarques

Idem modélisation A concernant le nombre d'incréments sur la précision des résultats.

Le nombre d'itérations est égal à 360.

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

6 Synthèse des résultats

Un nombre important d'incréments est nécessaire pour obtenir une précision correcte : pour information, dix incréments par étape de chargement ne sont pas suffisants.

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