SSNS115 - Gonflement d'une membrane souple

Résumé :

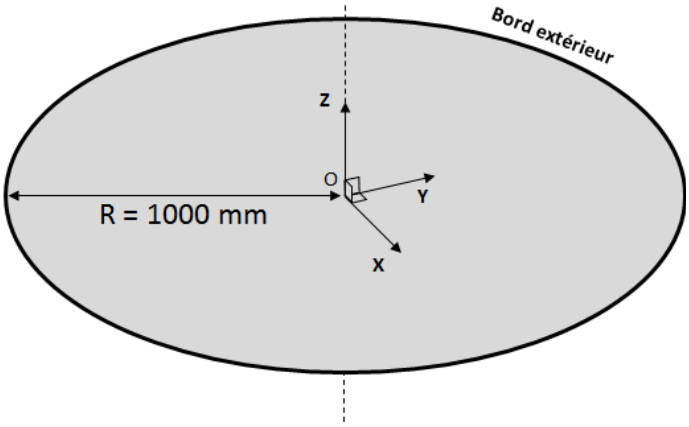
L'objectif de ce test est de valider le fonctionnement de l'élément MEMBRANE en grandes déformations pour deux lois de comportement hyperélastiques et différents types de mailles (linéaire, quadratique et bi-quadratique). On considère donc le gonflement d'un disque soumis à une pression suiveuse et on compare les résultats à des solutions tirées de la littérature.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

On considère un disque de rayon $1000\,mm$ dans le plan $(0, X, Y)$.



L'épaisseur de la membrane est renseignée dans AFFE_CARA_ELEM via le mot clé EPAIS et vaut $1\,mm$.

1.2 Propriétés du matériau

Le matériau est hyperélastique isotrope dont les propriétés sont :

- $E=2\,Mpa$
- $\nu=0,3$

On valide deux lois de comportement, la loi de Saint Venant Kirchhoff et la loi néo-Hookéenne.

1.3 Conditions aux limites et chargements

On encastre le bord extérieur de la membrane.

On applique une pression suiveuse sur l'ensemble du disque. Sa valeur est différente selon la loi de comportement utilisée. Elle vaut $25\,kPa$ avec l'utilisation de Saint Venant Kirchhoff et $1,32\,kPa$ avec la loi néo-Hookéenne.

1.4 Conditions initiales

On renseigne une tension initiale de $1\,Pa$ dans AFFE_CARA_ELEM via le mot clé N_INIT. Cette tension disparaît après le premier incrément de Newton.

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul

Nous ne disposons pas de solution analytique exacte pour ce problème. Les solutions de référence sont tirées de la littérature (cf. 1, p.262). Ce sont des solutions numériques obtenues par des calculs éléments finis.

2.2 Grandeurs et résultats de référence

On précise ci-dessous les déplacements verticaux mesurés au point O dans les modélisations de référence :

Grandeur	Identification	Loi de comportement	Solution de référence
Déplacement	Point O - DZ	Saint Venant Kirchhoff	2448 mm
Déplacement	Point O - DZ	Néo-Hookéenne	1047 mm

2.3 Incertitudes sur la solution

La solution de référence est numérique.

De plus, le relevé des valeurs s'est fait via le logiciel *G3Data Graph Analyzer* sur un scan d'un graphique contenu dans l'ouvrage de référence. L'incertitude est donc directement liée à la qualité et à la précision d'impression de l'ouvrage, ainsi qu'à la précision des pointages effectués.

2.4 Références bibliographiques

1 A. LE VAN : Coques et membranes, fondement de l'approche non linéaire. Technosup (2014).

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation MEMBRANE en grandes déformations (DEFORMATION='GROT_GDEP') avec la loi de comportement de Saint Venant Kirchhoff (RELATION='ELAS_MEMBRANE_SV'). On utilise des éléments linéaires.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 108 éléments de type QUAD4 et 14 de type TRIA3.

3.3 Grandeurs testées et résultats

On teste le déplacement au centre du disque, en O.

Identification	Type de référence	Valeur de référence (mm)	Précision
Point O - DZ	'SOURCE_EXTERNE'	2448	1,5%

3.4 Remarques

On a utilisé la recherche linéaire (RECH_LINEAIRE) pour atteindre la convergence.

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation MEMBRANE en grandes déformations (DEFORMATION='GROT_GDEP') avec la loi de comportement de Saint Venant Kirchhoff (RELATION='ELAS_MEMBRANE_SV'). On utilise des éléments quadratiques.

4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 108 éléments de type QUAD8 et 14 de type TRIA6.

4.3 Grandeurs testées et résultats

On teste le déplacement au centre du disque, en O.

Identification	Type de référence	Valeur de référence (mm)	Précision
Point O - DZ	'SOURCE_EXTERNE'	2448	2%

4.4 Remarques

On a utilisé la recherche linéaire (RECH_LINEAIRE) pour atteindre la convergence.

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 MEMBRANE en grandes déformations (DEFORMATION='GROT_GDEP') avec la loi de comportement de Saint Venant Kirchhoff (RELATION='ELAS_MEMBRANE_SV'). On utilise des éléments bi-quadratiques.

5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 108 éléments de type QUAD9 et 14 de type TRIA7.

5.3 Grandeurs testées et résultats

On teste le déplacement au centre du disque, en O.

Identification	Type de référence	Valeur de référence (mm)	Précision
Point O - DZ	'SOURCE_EXTERNE'	2448	1,5%

5.4 Remarques

On a utilisé la recherche linéaire (RECH_LINEAIRE) pour atteindre la convergence.

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

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation MEMBRANE en grandes déformations (DEFORMATION='GROT_GDEP') avec la loi de comportement néo-Hookéenne (RELATION='ELAS_MEMBRANE_NH'). On utilise des éléments linéaires.

6.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 108 éléments de type QUAD4 et 14 de type TRIA3.

6.3 Grandeurs testées et résultats

On teste le déplacement au centre du disque, en O.

Identification	Type de référence	Valeur de référence (mm)	Précision
Point O - DZ	'SOURCE_EXTERNE'	1047	3%

6.4 Remarques

On a utilisé la recherche linéaire (RECH_LINEAIRE) pour atteindre la convergence.

On limite la pression maximale à 1,047 kPa car avec la loi de comportement néo-Hookéenne il y a apparition d'un *snap-through* à environ 1,5 kPa. Cela entraîne de fortes non-linéarités autour de cette valeur qui ne peuvent être surmontées que par l'utilisation du pilotage, incompatible avec une pression suiveuse à l'heure actuelle.

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

7 Modélisation E

7.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise une modélisation MEMBRANE en grandes déformations (DEFORMATION='GROT_GDEP') avec la loi de comportement néo-Hookéenne (RELATION='ELAS_MEMBRANE_NH'). On utilise des éléments quadratiques.

7.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 108 éléments de type QUAD8 et 14 de type TRIA6.

7.3 Grandeurs testées et résultats

On teste le déplacement au centre du disque, en O.

Identification	Type de référence	Valeur de référence (mm)	Précision
Point O - DZ	'SOURCE_EXTERNE'	1047	1%

7.4 Remarques

On a utilisé la recherche linéaire (RECH_LINEAIRE) pour atteindre la convergence.

On limite la pression maximale à 1,047 kPa car avec la loi de comportement néo-Hookéenne il y a apparition d'un *snap-through* à environ 1,5 kPa. Cela entraîne de fortes non-linéarités autour de cette valeur qui ne peuvent être surmontées que par l'utilisation du pilotage, incompatible avec une pression suiveuse à l'heure actuelle.

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 MEMBRANE en grandes déformations (DEFORMATION='GROT_GDEP') avec la loi de comportement néo-Hookéenne (RELATION='ELAS_MEMBRANE_NH'). On utilise des éléments bi-quadratiques.

8.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage contient 108 éléments de type QUAD9 et 14 de type TRIA7.

8.3 Grandeurs testées et résultats

On teste le déplacement au centre du disque, en O.

Identification	Type de référence	Valeur de référence (mm)	Précision
Point O - DZ	'SOURCE_EXTERNE'	1047	0,1%

8.4 Remarques

On a utilisé la recherche linéaire (RECH_LINEAIRE) pour atteindre la convergence.

On limite la pression maximale à 1,047 kPa car avec la loi de comportement néo-Hookéenne il y a apparition d'un *snap-through* à environ 1,5 kPa. Cela entraîne de fortes non-linéarités autour de cette valeur qui ne peuvent être surmontées que par l'utilisation du pilotage, incompatible avec une pression suiveuse à l'heure actuelle.

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

9 Synthèse des résultats

Ce document valide l'élément de MEMBRANE en grandes déformations, pour :
- les lois de comportement de Saint Venant Kirchhoff et néo-Hookéenne,
- les éléments linéaires, quadratiques et bi-quadratiques.

Cette validation se fonde sur la comparaison avec des résultats issus de la littérature et est complétée par plusieurs tests de non-régression. Les éléments de littérature servant de référence ont aussi servi à implanter l'élément de membrane en grandes déformations dans code_aster, on vérifie donc la bonne implantation de l'élément dans le code vis à vis des sources utilisées.

Étant donné l'incertitude sur les résultats de référence, il n'est pas possible de conclure quant à la pertinence d'utiliser des éléments d'ordre plus élevés pour obtenir des résultats plus précis à maillage identique. On peut par contre conclure que tous ces éléments donnent ici des résultats satisfaisants, quelle que soit la loi de comportement utilisée.

On constate par ailleurs que l'élément de membrane en grandes déformations est fortement non linéaire et nécessite un certain nombre d'itérations de Newton (parfois plus de 100) pour atteindre l'équilibre initial.

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