SSNV208 – Essai biaxial drainé avec la loi de Hujeux

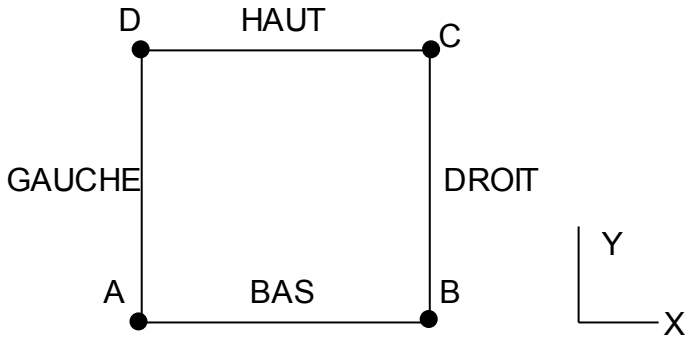
Résumé

On réalise un *essai biaxial en mécanique pure* (équivalent à des conditions hydrauliques drainées) avec *la loi de Hujeux*. Les solutions calculées sont comparées à des résultats issus du code éléments finis GEFDYN de l'École Centrale Paris.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



L'essai biaxial est effectué sur un seul élément fini isoparamétrique de forme carrée QUAD8, groupe de maille nommé $BLOC$. La longueur de chaque arête vaut $1\mathrm{m}$. Les différents côtés de ce carré sont des groupes de maille nommés $HAUT$, BAS, $DROIT$ et $GAUCHE$. Le groupe de mailles $COTE$ contient par ailleurs les groupes de maille $DROIT$ et $GAUCHE$; le groupe de maille $APPUI$ le groupe de maille BAS.

1.2 Propriétés de matériaux du sable d'Hostun

Les propriétés élastiques sont :

- module de compressibilité isotrope : $K=148\,MPa$
- module de cisaillement : $\mu=68\,MPa$

Les propriétés anélastiques (modèle de Hujeux) sont issues du mémoire de thèse de K.Hamadi **[2]** et correspondent à du sable d'Hostun peu dense :

- puissance de la loi élastique non-linéaire : $n_e=0.$ (élastique linéaire)
- $\beta=30.$
- $d=2.5$
- $b=0.2$
- angle de frottement : $\phi=33°$
- angle caractéristique : $\Psi=33°$
- pression critique : $P_{CO}=-400\,kPa$
- pression de référence : $P_{ref}=-1000\,kPa$
- rayon élastique du mécanisme isotrope : $r_{ela}^{s}=10^{-4}$
- rayon élastique du mécanisme déviatoire : $r_{ela}^{d}=0.01$
- $a_{mon}=0.017$
- $a_{cyc}=0.0001$
- $c_{mon}=0.08$
- $c_{cyc}=0.04$
- $r_{hys}=0.05$
- $r_{mob}=0.9$
- $x_m=1.$
- $dila=1.$

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1.3 Conditions aux limites et chargements

L'essai biaxial présenté ici est réalisé en modélisation D_PLAN. Les déplacements normaux au plan d'études sont donc nuls. On impose sur l'éprouvette un déplacement vertical tout en maintenant la pression latérale constante dans le plan d'étude. Il peut être drainé (la pression interstitielle de fluide ne varie pas au cours de l'essai) ou non-drainé (on ferme le robinet : la pression interstitielle de fluide évolue dans l'échantillon). On s'intéresse ici au cas drainé, plus simple, car ne faisant pas intervenir l'influence de la pression interstitielle du fluide. On choisit alors une modélisation en mécanique pure.

Dans le modèle considéré, l'élément carré représente un quart de l'échantillon. Les conditions aux limites sont donc les suivantes :
Les conditions de symétrie :

- $u_y=0.$ sur le groupe de maille BAS
- $u_x=0.$ sur le groupe de maille $GAUCHE$

Les conditions de pression latérale :

- $P_n=1.$ sur le groupe de maille $COTE$

Les conditions de chargement :

- $P_n=1.$ sur le groupe de maille $HAUT$
- $u_z=-1.$ sur le groupe de maille $HAUT$

Le chargement s'effectue en deux phases :

- Un état de contraintes isotrope, $P_o=100\,kPa$, est affecté initialement sur la maille $BLOC$;
- Un déplacement vertical est imposé sur le groupe de mailles $HAUT$ et varie entre $t=0.$ et $t=10.$ de $u_y=0.$ et $u_y=-0.2$ (déformation verticale totale de $20\,\%$).

1.4 Résultats

Les solutions sont post-traitées au point C , en termes de contrainte σ_{yy} , de déformation volumique totale ε_v et de coefficients d'écrouissage isotrope $\left(r_{ela}^{iso,m}+r_{iso}^{m}\right)$ et déviatoire $\left(r_{ela}^{d,m}+r_{dev}^{m}\right)$.

La validation est effectuée par comparaison aux solutions GEFDYN fournies par l'Ecole Centrale Paris (http://www.mssmat.ecp.fr/-GEFDYN,016-).

On réalise également le calcul d'option élémentaire PDIL_ELGA pour ce problème d'adoucissement. Cette option de calcul permet d'estimer la valeur maximale à allouer au paramètre de régularisation A1 des milieux de second gradient de dilatation [R5.04.03]. Cette valeur est une fonction des paramètres matériau, de l'état de contraintes et des valeurs des variables internes à l'instant de calcul [1].

1.5 Références bibliographiques

[1] Foucault A. « *Modélisation du comportement cyclique des ouvrages en terre intégrant des techniques de régularisation ».* Thèse de Docteur, École Centrale Paris, Châtenay Malabry, France, 2010.
[2] Hamadi K. « *Modélisation des bifurcations et des instabilités dans les géomatériaux*». Thèse de Docteur, École Centrale Paris, Châtenay Malabry, France, 2006

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Modélisation A

2.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation est bidimensionnelle à déformations planes D_PLAN et statique non-linéaire.
Le déplacement vertical imposé à la facette supérieure varie entre 0 et $-0.2\mathrm{m}$ en 280 pas de temps entre $t=0.$ et $t=10$. La subdivision automatique du pas de temps est activée pour gérer les situations de non convergence de l'intégration locale.

L'option de calcul INDL_ELGA, permettant de calculer les directions du tenseur de Rice, est également activée. Les résultats fournis par cette option sont testés en mode de non-régression.

L'option de calcul PDIL_ELGA, permettant de calculer les valeurs du paramètre A1_LC2, est également activée. Les résultats fournis par cette option sont testés en mode de non-régression.

2.2 Grandeurs testées et résultats

Les solutions sont calculées au point C et comparées à des références GEFDYN. Elles sont données en termes de contrainte σ_{yy} , de déformation volumique totale ε_v et de coefficients d'écrouissage isotrope $\left(r_{ela}^{iso,m}+r_{iso}^{m}\right)$ et déviatoire $\left(r_{ela}^{d,m}+r_{dev}^{m}\right)$, et récapitulées dans les tableaux suivants :

$\sigma_{yy}(kPa)$

ε_{zz}	TYPE	GEFDYN	Tolérance (%)
-1%	'SOURCE_EXTERNE'	-243.1	1.0
-2%	'SOURCE_EXTERNE'	-287.8	1.0
-5%	'SOURCE_EXTERNE'	-345.1	1.0
-10%	'SOURCE_EXTERNE'	-372.9	1.0
-20%	'SOURCE_EXTERNE'	-377.2	1.0

$\varepsilon_V=trace(\varepsilon)$

ε_{zz}	TYPE	GEFDYN	Tolérance (%)
-1%	'SOURCE_EXTERNE'	-4.07E-3	1.0
-2%	'SOURCE_EXTERNE'	-6.04E-3	1.0
-5%	'SOURCE_EXTERNE'	-8.18E-3	2.0
-10%	'SOURCE_EXTERNE'	-7.19E-3	6.0
-20%	'SOURCE_EXTERNE'	-1.87E-3	4.0

$\left(r_{ela}^{d,m}+r_{dev}^{m}\right)$ (Plan YZ)

ε_{zz}	TYPE	GEFDYN	Tolérance (%)
-1%	'SOURCE_EXTERNE'	0.398	2.0
-2%	'SOURCE_EXTERNE'	0.455	1.0
-5%	'SOURCE_EXTERNE'	0.517	2.0
-10%	'SOURCE_EXTERNE'	0.553	6.0
-20%	'SOURCE_EXTERNE'	0.582	1.0

$\left(r_{ela}^{d,m}+r_{dev}^{m}\right)$ (Plan XY)

ε_{zz}	TYPE	GEFDYN	Tolérance (%)
-1%	'SOURCE_EXTERNE'	0.643	2.0
-2%	'SOURCE_EXTERNE'	0.755	1.0
-5%	'SOURCE_EXTERNE'	0.870	1.0

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

-10%	'SOURCE_EXTERNE'	0.926	1.0
-20%	'SOURCE_EXTERNE'	0.961	1.0

$\left(r_{ela}^{iso,m}+r_{iso}^{m}\right)$

ε_{zz}	TYPE	GEFDYN	Tolérance (%)
-1%	'SOURCE_EXTERNE'	0.146	1.0
-2%	'SOURCE_EXTERNE'	0.155	1.0
-5%	'SOURCE_EXTERNE'	0.166	1.0
-10%	'SOURCE_EXTERNE'	0.181	2.0
-20%	'SOURCE_EXTERNE'	0.214	1.0

2.3 Commentaires

La comparaison entre les solutions *Code_Aster* et GEFDYN est particulièrement bonne, avec généralement moins de 1% d'erreur. Les erreurs relatives supérieures à 1% apparaissent pour des niveaux de valeurs testées plus faibles.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Synthèse des résultats

On représente dans les courbes suivantes les différentes comparaisons entre *Code_Aster* et GEFDYN en termes de contrainte σ_{yy} (Figure 1), de déformation volumique totale (Figure 2) et de coefficients d'écrouissage déviatoire (Figure 3) et isotrope (Figure 4).

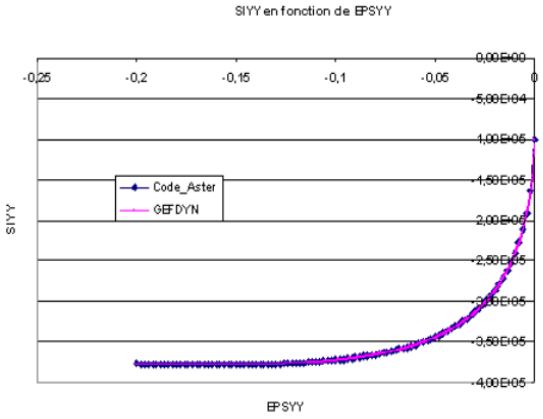


Figure **1** : σ_{yy} *en fonction de la déformation axiale : comparaison entre les solutions Code_Aster et GEFDYN.*

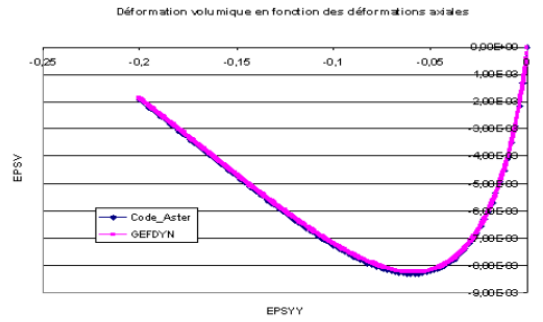


Figure **2** : *Déformation volumique totale en fonction de la déformation axiale : comparaison entre les solutions Code_Aster et GEFDYN (noté « EPSv »).*

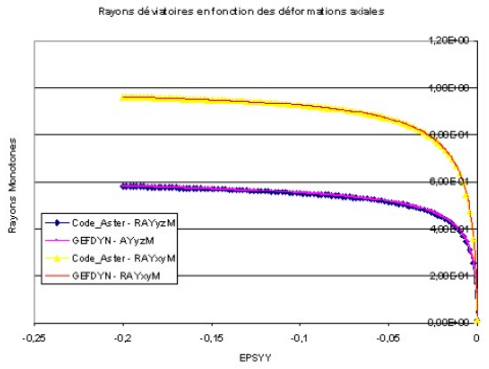


Figure **3** : *rayons déviatoires en fonction de la déformation axiale : comparaison entre les solutions Code_Aster et GEFDYN.*

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

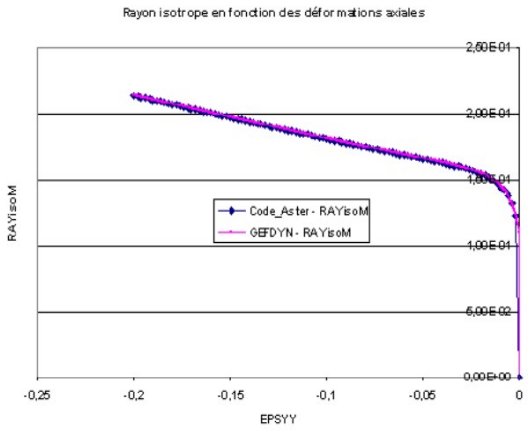


Figure **4** : *rayon isotrope en fonction de la déformation axiale : comparaison entre les solutions Code_Aster et GEFDYN.*

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)