WTNV134 – Triaxial non drainé cyclique avec la loi de Hujeux

Résumé

Ce test permet de valider l'implantation des mécanismes déviatoires cycliques et le mécanisme de consolidation cyclique de la loi de Hujeux. Il s'agit d'un essai triaxial cyclique réalisé en condition non drainée. Le couplage hydraulique est pris en compte, l'échantillon est totalement saturé, le squelette et le fluide sont supposés incompressibles.

Le niveau de confinement est de $30\,kPa$.

Les résultats obtenus avec la loi de Hujeux sont comparés à des résultats issus du code éléments finis GEFDYN de l'École Centrale Paris (http://www.mssmat.ecp.fr/-GEFDYN,016-).

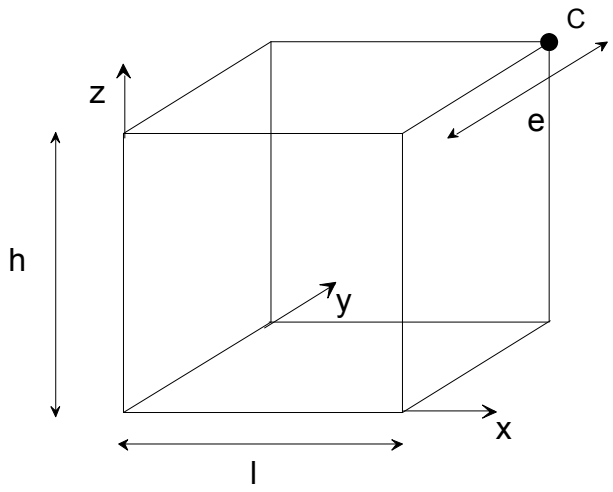
La modélisation B permet de traiter le même problème avec une simulation de type « point matériel », sans élément fini.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Il s'agit d'un échantillon de forme cubique en représentation $1/8$ à l'aide d'un élément HEXA20 .



hauteur : h = 1 m
largeur : l = 1 m
épaisseur : e = 1 m

1.2 Propriétés de matériaux

Les propriétés élastiques sont :

- module de compressibilité isotrope : $K=516200\,kPa$;
- module de cisaillement : $\mu=238200\,kPa$;
- masse volumique [1] : $\rho_s=2500\,kg/m^3$.

Les propriétés anélastiques de la loi de Hujeux cyclique sont issues du document référencé à l'adresse internet suivante http://www.mssmat.ecp.fr/IMG/pdf/resp_loph40.pdf . Ce sont les paramètres relatifs à du sable d'Hostun:

- puissance de la loi élastique non-linéaire : $n_e=0.4$;
- $\beta=24$;
- $d=2.5$;
- $b=0.2$;
- angle de frottement : $\varphi=33°$;
- angle caractéristique : $\psi=33°$;
- pression critique : $P_{c0}=-1\,MPa$;
- pression de référence : $P_{ref}=-1\,MPa$;
- rayon élastique des mécanismes isotropes : $r^s_{ela}=0.001$;
- rayon élastique des mécanismes déviatoires : $r^d_{ela}=0.005$;
- $a_{mon}=0.008$;
- $a_{cyc}=0.0001$;
- $c_{mon}=0.2$;
- $c_{cyc}=0.1$;
- $r_{hys}=0.05$;
- $r_{mob}=0.9$;
- $x_m=1$;
- $Dila=1$.

1 En l'absence de pesanteur, les masses volumiques du sol et de l'eau n'interviennent pas dans le problème.

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

Les propriétés hydrauliques sont :

- coefficient de Biot : $B=1$;
- la masse volumique de l'eau : $\rho_e=1000\,kg/m^3$;
- la viscosité : $\nu=0.001$;
- la perméabilité intrinsèque : $K^{\text{int}}=1.\text{E}^{-8}\,m^3/kg/s$;
- le module de compressibilité de l'eau : $K_e=1.\text{E}^{+12}\,Pa$.

1.3 Conditions aux limites et chargements

1.3.1 Conditions aux limites

Il s'agit des conditions de symétrie sur l'élément, qui représente $1/8$ de l'échantillon. Les déplacements sont bloqués sur les faces avant ($u_y=0$), latérale gauche ($u_x=0$) et inférieure ($u_z=0$).

1.3.2 Chargement

Phase 1 : consolidation de l'échantillon jusqu'à la pression de confinement p 0
On amène l'échantillon à un état homogène de contraintes *effectives* isostatiques $\sigma^0_{xx}=\sigma^0_{yy}=\sigma^0_{zz}=\sigma^0=-30\,kPa$, en imposant la pression σ_0 sur les faces arrière, latérale droite et supérieure de l'élément, tout en maintenant des pressions d'eau PRE1 nulles dans l'échantillon.

Phase 2 : chargement triaxial non drainé
Pour obtenir les conditions non drainées, on impose sur toutes les faces des flux hydrauliques nuls.
En maintenant sur les faces arrière et latérale droite une pression égale à σ_0 , on applique un chargement alternatif en pression d'amplitude $\Delta\sigma$ égale à $15\,kPa$ sur la face supérieure, de façon à obtenir une variation de la contrainte verticale σ_{zz} dans l'échantillon comprise dans l'intervalle $-45\,kPa\leq\sigma_{zz}\leq-15\,kPa$ (avec la convention de signe moins pour la compression).

1.4 Résultats

Les solutions sont post-traitées au point C, en termes de pression isotrope effective P ($=\text{tr}(\sigma')/3$), de déformation volumique plastique ε_v^p et de coefficients d'écrouissage isotropes $\left(r^m_{iso}+r^{iso}_{ela}\right)$ et $\left(r^c_{iso}+r^{iso}_{ela}\right)$ et déviatoires $\left(r^m_d+r^d_{ela}\right)$ et $\left(r^c_d+r^d_{ela}\right)$.
La validation est effectuée par comparaison aux solutions GEFDYN fournies par l'Ecole Centrale Paris.

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 $3D$ avec un couplage hydro-mécanique en quasi-statique non-linéaire.
Dans la phase 1 de chargement, on amène l'échantillon à la pression de consolidation $\sigma^0_{xx}=\sigma^0_{yy}=\sigma^0_{zz}=\sigma^0=-30\,kPa$
On utilise la loi de Hujeux *cyclique*.

2.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 20
Nombre de mailles et type : 1 HEXA20 et 6 QUAD8

2.3 Grandeurs testées et résultats

Les solutions sont calculées au point C et comparées aux résultats obtenus avec GEFDYN. Elles sont données en termes de pression isotrope, de déformation volumique plastique ε_v^p et de facteurs de mobilisation, et récapitulées dans les tableaux suivants :

$3\cdot P'=\sigma_{ij}\cdot\delta_{ij}\quad(kPa)$

$Q=\sigma_{zz}$ - σ_{xx} (kPa)	Code_Aster (kPa)	GEFDYN (kPa)	erreur relative
-15	-80.223	-80.194	0.038%
15	-73.988	-74.078	-0.122%
-15	-66.055	-66.250	-0.295%
15	-52.625	-52.999	-0.707%
-15	-45.539	-45.672	-0.292%

$\varepsilon_v^p=trace(\boldsymbol{\varepsilon}^p)$

$Q=\sigma_{zz}$ - σ_{xx} (kPa)	Code_Aster	GEFDYN	erreur relative
-15	-2.62e-5	-2.63e-5	-0.225%
$0\uparrow$	-2.80e-5	-2.78e-5	0.854%
$0\downarrow$	-4.48e-5	-4.43e-5	1.076%
$0\uparrow$	-7.11e-5	-7.05e-5	0.842%
$0\downarrow$	-1.13e-4	-1.11e-4	1.412%
$0\uparrow$	-1.85e-4	-1.85e-4	0.261%

$(r^c_{iso}+r^s_{ela})$

$Q=\sigma_{zz}$ - σ_{xx} (kPa)	Code_Aster	GEFDYN	erreur relative
$0\uparrow$	0.00140	0.00138	1.329%
$0\downarrow$	0.00220	0.00217	1.406%
$0\uparrow$	0.00341	0.00337	1.246%
$0\downarrow$	0.00518	0.00510	1.663%
$0\uparrow$	0.00195	0.00189	2.947%

$(r^m_{dev}+r^d_{ela})$

$Q=\sigma_{zz}$ - σ_{xx} (kPa)	Code_Aster	GEFDYN	erreur relative
15	0.326	0.326	-0.088%
-15	0.395	0.394	0.172%

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

15	0.395	0.394	0.172%
-15	0.579	0.578	0.255%

2.4 Remarques

La comparaison entre les solutions Code_Aster et GEFDYN est relativement bonne. Les différences s'expliquent par la méthode d'intégration choisie pour GEFDYN qui est explicite. Il faudrait augmenter le découpage du chargement pour obtenir des valeurs plus proches de celles de Code_Aster.

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

3 Modélisation B

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation est de type « point matériel » avec des relations linéaires sur les composantes du tenseur des déformations simulant l'incompressibilité, en quasi-statique non-linéaire.
On considère ici la phase 2 du chargement, avec un état de contraintes initial hydrostatique $\sigma^0_{xx}=\sigma^0_{yy}=\sigma^0_{zz}=\sigma^0=-30\,kPa$
Les données sont identiques à celles de la modélisation A.

3.2 Caractéristiques du maillage

Pas d'élément fini

3.3 Grandeurs testées et résultats

Les solutions sont calculées au point C et comparées aux résultats obtenus avec GEFDYN (mêmes tests que la modélisation A). Elles sont données en termes de pression isotrope, de déformation volumique plastique ε_v^p et de facteurs de mobilisation, et récapitulées dans les tableaux suivants :

$3\cdot P'=\sigma_{ij}\cdot\delta_{ij}\quad(kPa)$

$Q=\sigma_{zz}$ - σ_{xx} (kPa)	Code_Aster (kPa)	GEFDYN (kPa)	erreur relative
-15	-80.223	-80.194	0.038%
15	-73.988	-74.078	-0.122%
-15	-66.055	-66.250	-0.295%
15	-52.625	-52.999	-0.707%
-15	-45.539	-45.672	-0.292%

$\varepsilon_v^p=trace(\boldsymbol{\varepsilon}^p)$

$Q=\sigma_{zz}$ - σ_{xx} (kPa)	Code_Aster	GEFDYN	erreur relative
-15	-2.62e-5	-2.63e-5	-0.225%
$0\uparrow$	-2.80e-5	-2.78e-5	0.854%
$0\downarrow$	-4.48e-5	-4.43e-5	1.076%
$0\uparrow$	-7.11e-5	-7.05e-5	0.842%
$0\downarrow$	-1.13e-4	-1.11e-4	1.412%
$0\uparrow$	-1.85e-4	-1.85e-4	0.261%

$(r^c_{iso}+r^s_{ela})$

$Q=\sigma_{zz}$ - σ_{xx} (kPa)	Code_Aster	GEFDYN	erreur relative
$0\uparrow$	0.00140	0.00138	1.329%
$0\downarrow$	0.00220	0.00217	1.406%
$0\uparrow$	0.00341	0.00337	1.246%
$0\downarrow$	0.00518	0.00510	1.663%
$0\uparrow$	0.00195	0.00189	2.947%

$(r^m_{dev}+r^d_{ela})$

$Q=\sigma_{zz}$ - σ_{xx} (kPa)	Code_Aster	GEFDYN	erreur relative
15	0.326	0.326	-0.088%
-15	0.395	0.394	0.172%

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

15	0.395	0.394	0.172%
-15	0.579	0.578	0.255%

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

4 Synthèse des résultats

On représente dans les courbes suivantes les différentes comparaisons entre *Code_Aster* et GEFDYN, en termes de pression isotrope (Figure 4-a), de déformation volumique plastique (Figure 4-b) et de coefficients d'écrouissage déviatoire (Figure 4-c).

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

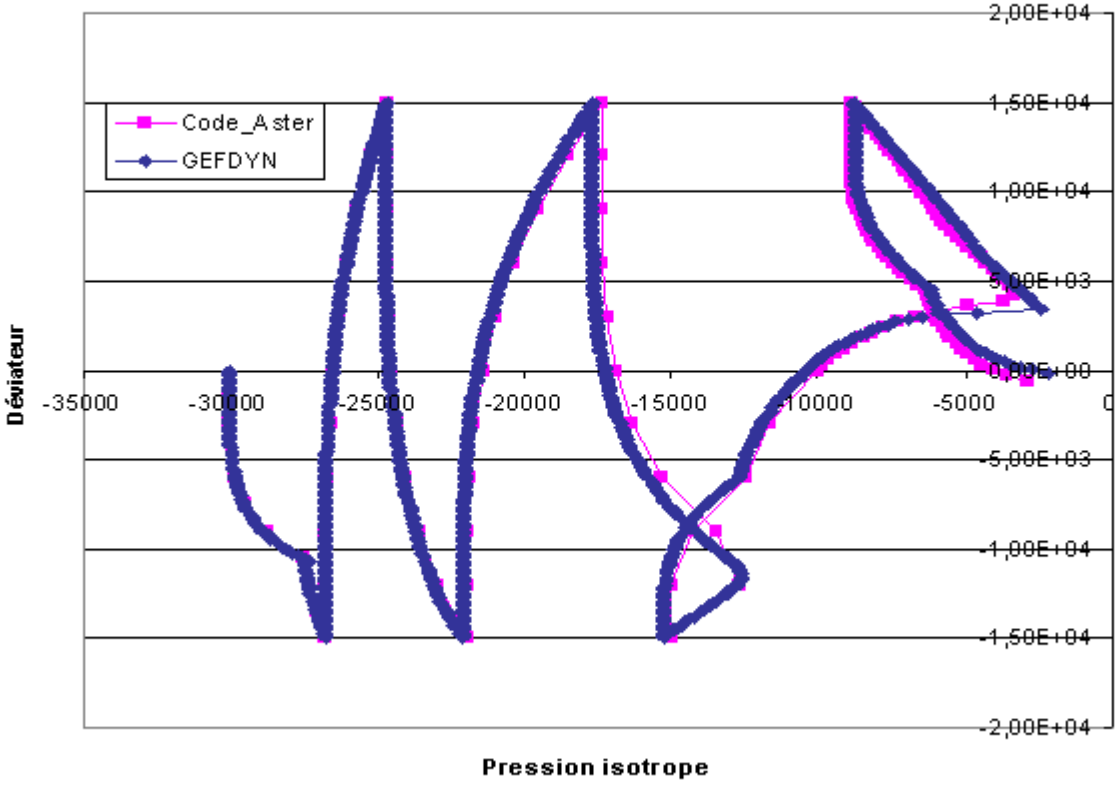


Figure 4-a : ***Essai triaxial non drainé cyclique (Plan*** $P-Q$ ***) : comparaison entre les solutions Code_Aster et GEFDYN pour une pression de consolidation de*** $30\,kPa$ ***.***

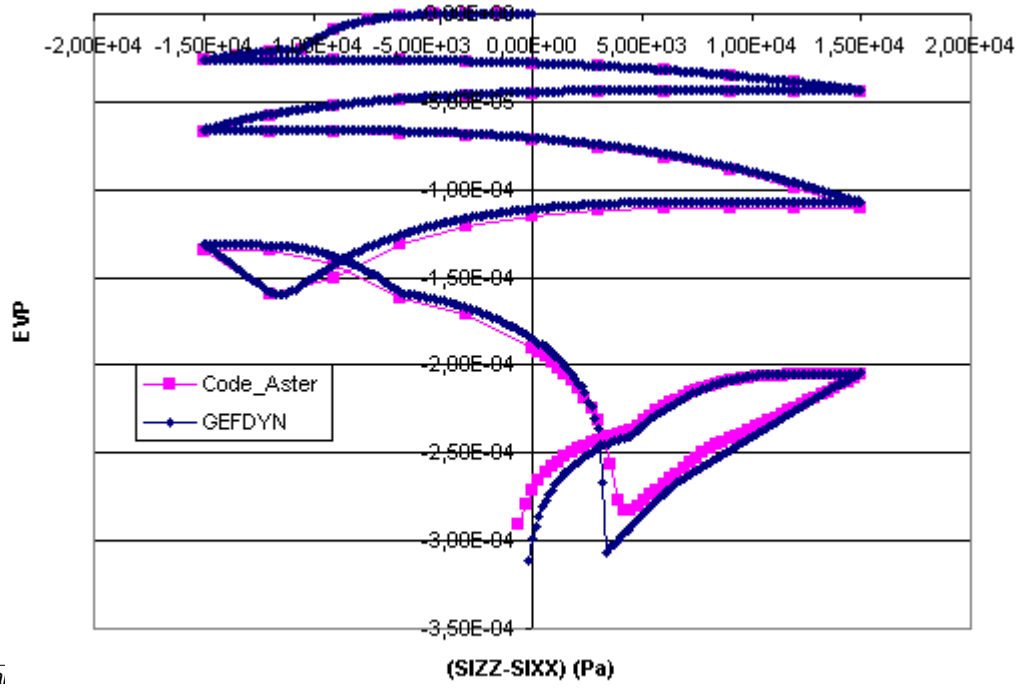


Figure 4-b: ***Déformation volumique plastique en fonction du déviateur des contraintes : comparaison entre les solutions Code_Aster et*** GEFDYN **.**

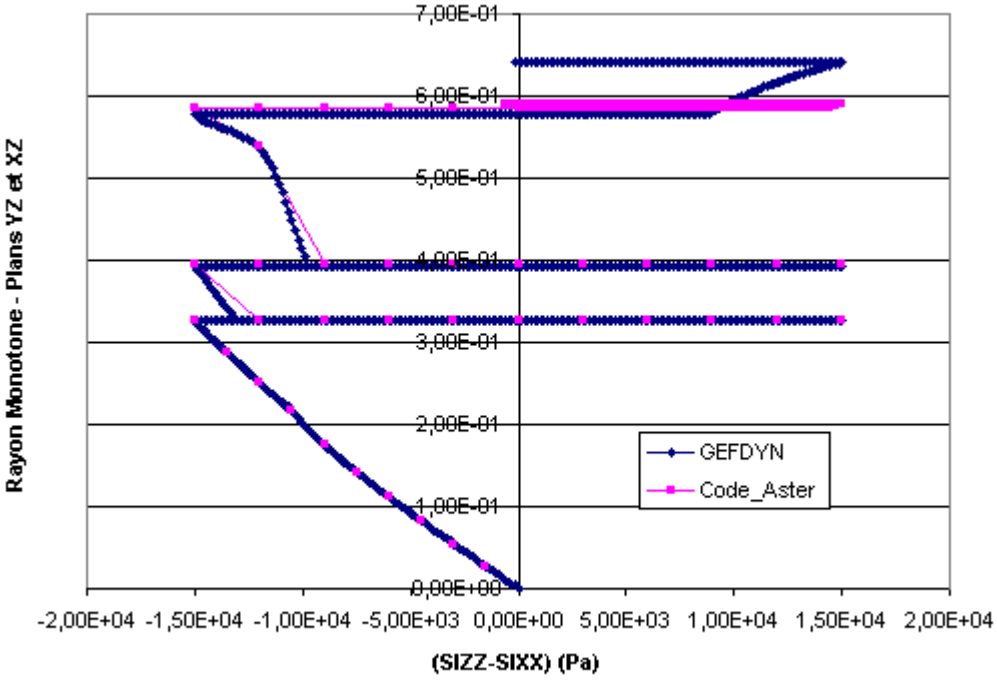


Figure 4-c: rayon déviatoire monotone en fonction du déviateur des contraintes : comparaison entre les résultats de Code_Aster et de GEFDYN.

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