SSNV205 – Essai de cisaillement cyclique drainé à pression isotrope constante

Résumé :

L'essai de cisaillement cyclique drainé à pression isotrope constante permet de simuler la perte de raideur d'un sol en fonction de l'amplitude des déformations cycliques appliquées. Ces essais permettent également de déterminer la dissipation introduite au cours des cycles de chargement.

On s'intéresse dans ce cas-tests d'abord aux lois de comportement d'Hujeux (modélisation A) et d'Iwan (modélisation B), deux lois actuellement disponibles dans *Code_Aster* pour le comportement cyclique de matériaux granulaires. On s'intéresse ensuite à la loi de comportement KH_CSSM (modélisation C) conçue autour de la représentation générale des géomatériaux granulaires sous chargements monotones et cycliques.

Dans la modélisation A, la réalisation de ces essais permet également de valider l'introduction des seuils déviatoires cycliques du modèle de comportement de Hujeux, Les résultats du Code_Aster sont comparés aux résultats obtenus avec le logiciel GEFDyn pour le même modèle de comportement.

Dans la modélisation B, les résultats obtenus avec le modèle d'Iwan sont comparés à ceux de la modélisation avec le modèle d'Hujeux, en considérant des courbes de comportement similaires pour les deux modèles.

Dans la modélisation C, les résultats obtenus à l'aide du modèle KH_CSSM sont comparés à ceux issus de calculs au point matériel par mtest. Ces résultats permettent également d'illustrer l'écrouissage déviatorique du modèle.

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

Table des matières

1Problème de référence....3
1.1Géométrie....3
1.2Propriétés du matériau....3
1.2.1Lois de comportement de Hujeux et de Iwan....3
1.2.2Loi de comportement KH_CSSM....4
1.3Conditions aux limites et chargements....4
1.4Conditions initiales....4
2Solution de référence pour la modélisation A....5
2.1Méthode de calcul....5
2.2Grandeurs et résultats de référence....5
2.3Incertitudes sur la solution....5
2.4Références bibliographiques....5
3Modélisation A....6
3.1Caractéristiques de la modélisation....6
3.2Caractéristiques du maillage....6
3.3Grandeurs testées et résultats....6
4Modélisation B....8
4.1Caractéristiques de la modélisation....8
4.2Caractéristiques du maillage....8
4.3Grandeurs testées et résultats....8
5Modélisation C....10
5.1Caractéristiques de la modélisation....10
5.2Caractéristiques du maillage....10
5.3Grandeurs testées et résultats....10
6Synthèse des résultats....12

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

On considère un élément point matériel.

1.2 Propriétés du matériau

1.2.1 Lois de comportement de Hujeux et de Iwan

Les propriétés élastiques isotropes du matériau sont :

- $E=619.33\,MPa$
- $\nu=0.3$
- soit : $K=512.2\,MPa$ et $G=238.2\,MPa$

Les paramètres matériau du modèle de `Hujeux` (modélisation A) sont :

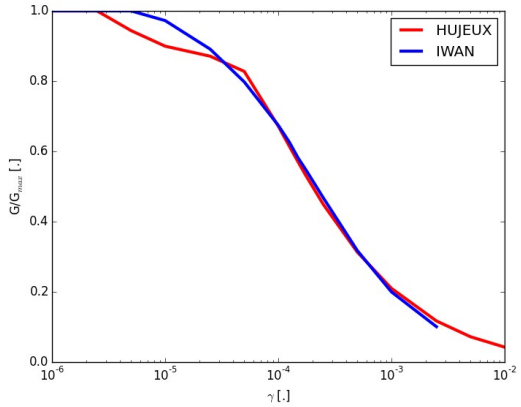
- $n=0.4$, $\beta=24$, $b=0.2$, $d=2.5$
- $\varphi=33°$, $\psi=33°$, $P_{c0}=-1.00\,MPa$, $P_{ref}=-1.00\,MPa$
- $a_{cyc}=1.00\,10^{-4}$, $a_{mon}=8.00\,10^{-3}$
- $c_{cyc}=1.00\,10^{-1}$, $c_{mon}=2.00\,10^{-1}$
- $r^{d}_{ela}=5.00\,10^{-3}$, $r^{i}_{ela}=1.00\text{e}{-3}$, $r^{d,c}_{ela}=5.0010^{-3}$, $r^{i,c}_{ela}=1.00\,10^{-3}$
- $r_{hys}=5.00\,10^{-2}$, $r_{mob}=9.00\,10^{-1}$
- $x_m=1.0$, $\alpha=1.0$

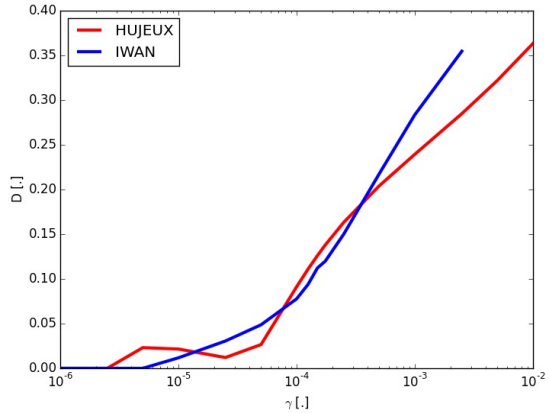
Les paramètres du modèle d'`Iwan` (modélisation B) sont :

- $\gamma_{\text{ref}}=2.00\,10^{-4}$
- $n=0.78$

L es modules élastiques doivent être mis à jour pour la pression de confinement de l'essai, car $n\neq 0$.

Remarque : *À l'aide de l'outil `CALC_ESSAI_GEOMECA` , on est en mesure de comparer les courbes de comportement pour les deux modèles en termes de réduction du module de cisaillement sécant et amortissement hystérétique (voir Figure 1.2.1-1).*





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

Figure 1.2.1-1 – Courbes de comportement pour les modèles d'Hujeux et d'Iwan

1.2.2 Loi de comportement KH_CSSM

Les paramètres du modèle KH_CSSM (modélisation C) sont (cf. [R7.01.44]) :

- $K=100\,MPa$, $G=60\,MPa$, $\kappa=200$.
- $M=1, a_{bp}=1, m_{bp}=2$.
- $p_{c0}=50\,kPa$, $p_{t0}=5\,kPa$, $\omega=50$.
- $H=60\,MPa$, $r=1$.

Remarque : *La loi* K H_CSSM *utilise les paramètres géométriques* $a_{bp}=1$ *et* $m_{bp}=2$ *pour p roduire un domaine de réversibilité elliptique identique à celui de la loi* CAM_CLAY *(cf. [R7.01. 14]). Les modules et indice* H *et* r *génèrent un écrouissage déviatorique cinématique supplémentaire.*

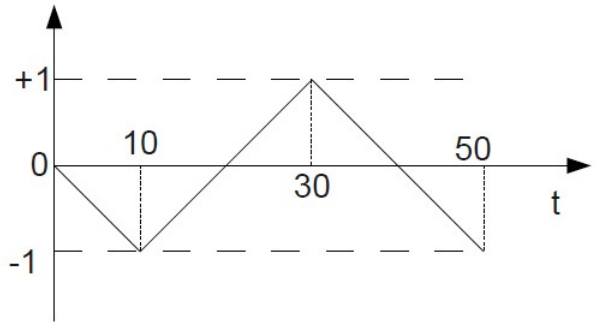
1.3 Conditions aux limites et chargements

Pour rappel, l'emploi de la commande SIMU_POINT_MAT permet d'imposer directement un champ de déformations et/ou de contraintes.

On impose une évolution nulle au cours du chargement pour les composantes suivantes des tenseurs contraintes et déformations :

- $d\sigma_{xx}=d\sigma_{yy}=d\sigma_{zz}=0$
- $d\varepsilon_{yz}=d\varepsilon_{zx}=0$

On impose l'évolution suivante pour les déformations de cisaillement, $d\varepsilon_{xy}$:



On réalise plusieurs calculs indépendants avec le même type de chargement, mais l'amplitude de déformations varie suivant les valeurs suivantes : $\left[2.10^{-5}, 2.10^{-4}, 2.10^{-3}\right]$

1.4 Conditions initiales

L'état de contraintes initiales est isotrope et correspond à une pression de $50\,kPa$.

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

2 Solution de référence pour la modélisation A

2.1 Méthode de calcul

La solution de référence est obtenue à partir des simulations équivalentes avec le modèle de Hujeux réalisées avec le logiciel de calcul par la méthode des Éléments Finis, GEFDyn, développé à l'École Centrale Paris.

2.2 Grandeurs et résultats de référence

Les grandeurs et résultats de référence fournis par GEFDyn sont les suivants :

- évolution de la contrainte de cisaillement au cours du chargements
- évolution de la déformation volumique plastique

2.3 Incertitudes sur la solution

Les incertitudes sur la solution sont liées directement à la précision demandée pour assumer la convergence du calcul numérique réalisé avec GEFDyn, soit 1.10^{-6} en norme relative sur le déplacement.

2.4 Références bibliographiques

[1] D.Aubry, A.Modaressi. GEFDyn, Manuel Scientifique. École Centrale Paris, LMSS-Mat, 1996.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise la commande SIMU_POINT_MAT avec SUPPORT=POINT. On utilise le modèle de Hujeux.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage n'existe pas et les calculs se restreignent à un point de Gauss.

3.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées et résultats sont les suivants :
- évolution de la contrainte (en Pa) de cisaillement au cours du chargements, SIXY.
- évolution de la déformation volumique plastique, V23.

On réalise trois appels indépendants à la commande SIMU_POINT_MAT où seule l'amplitude du chargement varie.

Cas 1 : $\mathrm{d}\varepsilon_{xy}=2.10^{-5}$

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
$SIXY-INST=5$	'SOURCE_EXTERNE'	-1260	1%
$SIXY-INST=10$	'SOURCE_EXTERNE'	-2465	1%
$SIXY-INST=20$	'SOURCE_EXTERNE'	54,03	1%
$SIXY-INST=30$	'SOURCE_EXTERNE'	2463	1%
$SIXY-INST=40$	'SOURCE_EXTERNE'	55,78	2%
$SIXY-INST=50$	'SOURCE_EXTERNE'	-2465	1%
$V23-INST=10$	'SOURCE_EXTERNE'	-1,828e-9	1%
$V23-INST=20$	'SOURCE_EXTERNE'	-1,828e-9	1%
$V23-INST=30$	'SOURCE_EXTERNE'	-5,74e-9	1%
$V23-INST=40$	'SOURCE_EXTERNE'	-5,74e-9	1%
$V23-INST=50$	'SOURCE_EXTERNE'	-9,65e-9	1%

Cas 2 : $\mathrm{d}\varepsilon_{xy}=2.10^{-4}$

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
$SIXY-INST=5$	'SOURCE_EXTERNE'	-7207	1%
$SIXY-INST=10$	'SOURCE_EXTERNE'	-10170	1%
$SIXY-INST=20$	'SOURCE_EXTERNE'	4223	1%
$SIXY-INST=30$	'SOURCE_EXTERNE'	10150	1%
$SIXY-INST=40$	'SOURCE_EXTERNE'	-4243	2%

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

$SIXY-INST=50$	'SOURCE_EXTERNE'	-10170	1%
$V23-INST=5$	'SOURCE_EXTERNE'	-3,593e-6	3%
$V23-INST=10$	'SOURCE_EXTERNE'	-1,402e-5	1%
$V23-INST=20$	'SOURCE_EXTERNE'	-2,265e-5	1%
$V23-INST=30$	'SOURCE_EXTERNE'	-4,492e-5	1%
$V23-INST=40$	'SOURCE_EXTERNE'	-5,354e-5	1%
$V23-INST=50$	'SOURCE_EXTERNE'	-7,578e-5	1%

Cas 3 : $\mathrm{d}\varepsilon_{xy}=2.10^{-3}$

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
$SIXY-INST=5$	'SOURCE_EXTERNE'	-19591	1%
$SIXY-INST=10$	'SOURCE_EXTERNE'	-24320	1%
$SIXY-INST=20$	'SOURCE_EXTERNE'	14793	1%
$SIXY-INST=30$	'SOURCE_EXTERNE'	24310	1%
$SIXY-INST=40$	'SOURCE_EXTERNE'	14887	2%
$SIXY-INST=50$	'SOURCE_EXTERNE'	-24426	1%
$V23-INST=5$	'SOURCE_EXTERNE'	-1,323e-4	1%
$V23-INST=10$	'SOURCE_EXTERNE'	-2,377e-4	1%
$V23-INST=20$	'SOURCE_EXTERNE'	-6,958e-4	1%
$V23-INST=30$	'SOURCE_EXTERNE'	-9,885e-4	1%
$V23-INST=40$	'SOURCE_EXTERNE'	-1,4475e-3	1%
$V23-INST=50$	'SOURCE_EXTERNE'	-1,7348e-3	1%

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

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise la commande SIMU_POINT_MAT avec SUPPORT=POINT.

4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage n'existe pas et les calculs se restreignent à un point de Gauss.

4.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées et résultats sont les suivants :

- évolution de la contrainte de cisaillement (en Pa) au cours du chargements, SIXY.

On réalise trois appels indépendants à la commande SIMU_POINT_MAT où seule l'amplitude du chargement varie.

On rappelle que pour cette modélisation on compare les résultats obtenus par le modèle d'Iwan avec ceux du modèle de Hujeux obtenus dans la modélisation A.

Cas 1 : $d\varepsilon_{xy}=2.10^{-5}$

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
$SIXY-INST=5$	'AUTRE_ASTER'	-1259.3243448744	5%
$SIXY-INST=10$	'AUTRE_ASTER'	-2462.7975417813	5%
$SIXY-INST=30$	'AUTRE_ASTER'	2466.8646345014	5%
$SIXY-INST=50$	'AUTRE_ASTER'	-2459.6074144164	5%

Cas 2 : $d\varepsilon_{xy}=2.10^{-4}$

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
$SIXY-INST=5$	'AUTRE_ASTER'	-7176.9064750495	5%
$SIXY-INST=10$	'AUTRE_ASTER'	-10145.337714444	8%
$SIXY-INST=20$	'AUTRE_ASTER'	4211.6280455068	5%
$SIXY-INST=30$	'AUTRE_ASTER'	10168.207641876	8%
$SIXY-INST=40$	'AUTRE_ASTER'	-4187.8912522105	5%
$SIXY-INST=50$	'AUTRE_ASTER'	-10123.83079066	8%

Cas 3 : $d\varepsilon_{xy}=2.10^{-3}$

Identification	Type de référence	Valeur de référence	Tolérance
$SIXY-INST=5$	'AUTRE_ASTER'	-19488.466443205	5%
$SIXY-INST=10$	'AUTRE_ASTER'	-24272.532994658	5%
$SIXY-INST=20$	'AUTRE_ASTER'	14771.427020076	5%
$SIXY-INST=30$	'AUTRE_ASTER'	24346.990829393	5%

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

$SIXY - INST = 40$	'AUTRE_ASTER'	-14787.939443998	5%
$SIXY - INST = 50$	'AUTRE_ASTER'	-24381.246915809	5%

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

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

On utilise la commande SIMU_POINT_MAT avec SUPPORT=POINT.

5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage n'existe pas et les calculs se restreignent à un point de Gauss

5.3 Grandeurs testées et résultats

Les grandeurs testées et résultats sont les suivants :
- évolution de la contrainte de cisaillement au cours du chargements, SIXY (en Pascals).

On réalise trois appels indépendants à la commande SIMU_POINT_MAT où seule l'amplitude du chargement varie.

Les solutions sont c omparée s à des références issues d'un calcul mtest au point matérie l. Celles-ci sont synthétisées par le s tableau x ci-dessous :

Cas 1 : $d\varepsilon_{xy} = 2.10^{-5}$

Identification	mtest	Code_Aster	% différence
$SIXY - INST = 10$	-1546.70	-1546.18	3.40E-02%
$SIXY - INST = 20$	939.79	939.84	5.53E-03%
$SIXY - INST = 30$	2010.50	2010.24	1.27E-02%
$SIXY - INST = 40$	-629.50	-629.76	4.05E-02%
$SIXY - INST = 50$	-2061.48	-2061.30	8.50E-03%

Cas 2 : $d\varepsilon_{xy} = 2.10^{-4}$

Identification	mtest	Code_Aster	% différence
$SIXY - INST = 10$	-4988.38	-4985.46	5.85E-02%
$SIXY - INST = 20$	5875.27	5872.49	4.73E-02%
$SIXY - INST = 30$	7154.27	7152.29	2.75E-02%
$SIXY - INST = 40$	-7052.86	-7048.86	5.67E-02%
$SIXY - INST = 50$	-8348.76	-8347.02	2.08E-02%

Cas 3 : $d\varepsilon_{xy} = 2.10^{-3}$

Identification	mtest	Code_Aster	% différence
$SIXY - INST = 10$	-11776.70	-11767.39	7.90E-02%
$SIXY - INST = 20$	14703.72	14696.13	5.17E-02%
$SIXY - INST = 30$	17014.02	17007.81	3.65E-02%
$SIXY - INST = 40$	-18518.33	-18512.39	3.21E-02%

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

$SIXY - INST = 50$	-20019.30	-20014.09	2.60E-02%

Figure 5.3-1: Réponse pour $d\varepsilon_{xy} = 2.10^{-5}$.

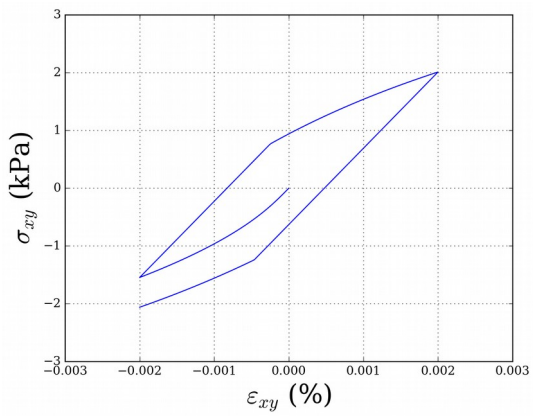


Figure 5.3-2: Réponse pour $d\varepsilon_{xy} = 2.10^{-4}$.

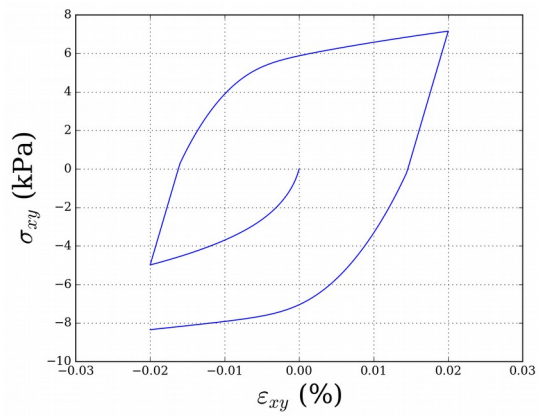
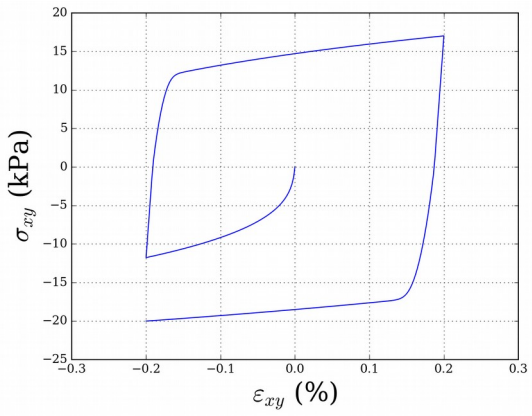


Figure 5.3-3: Réponse pour $d\varepsilon_{xy} = 2.10^{-3}$.



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

6 Synthèse des résultats

Ce test permet de comparer les résultats de deux modèles de comportement pour la réponse en cisaillement cyclique de matériaux granulaires.

La modélisation A a permis de valider le comportement du modèle de `Hujeux` sous chargement cyclique en comparaison des résultats sur le code de référence de ce modèle de comportement.

La modélisation B a permis de vérifier que le modèle d'`Iwan` permet d'obtenir de résultats proches du modèle d'Hujeux (à un écart d'environ 5%), mais avec une calibration aisée (2 paramètres).

La modélisation C a illustré l'apport de l'écrouissage déviatorique du modèle `KH_CSSM` en prédisant l'apparition de cycles d'hystérésis sous trois chargements symétriques en déformation

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