WTNV122 - Essai triaxial non drainé avec la loi CAM_CLAY

Résumé :

Ce test permet de valider la loi mécanique élasto-plastique Cam_Clay spécifique aux sols normalement consolidés. Cette loi intègre un mécanisme hydrostatique élasto-plastique (dont la partie élastique est non-linéaire et le seuil d'écoulement correspond à la pression de consolidation) couplé à un mécanisme déviatorique élasto-plastique dont la partie élastique est linéaire. Le comportement est durcissant ou adoucissant suivant la combinaison des deux mécanismes.

Trois modélisations différentes sont réalisées en 3D. Dans chaque modélisation, le test est effectué en couplage hydro-mécanique et il comprend deux trajets de chargement :

La modélisation A est caractérisée par :
- un trajet de compression hydrostatique en condition drainée jusqu'à la pression de consolidation,
- un trajet non-drainé en maintenant les contraintes latérales sur l'échantillon et en imposant un déplacement vertical de compression qui induit un état de contraintes triaxial, et un régime plastique contractant.

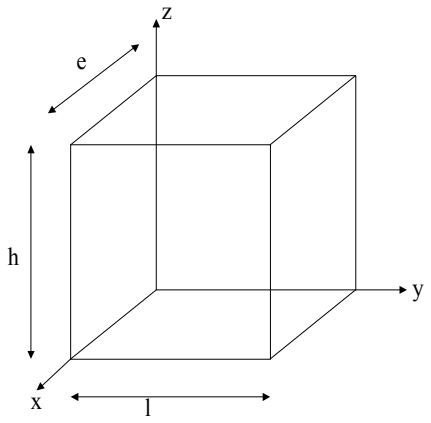
La modélisation B est caractérisée par :
- un trajet de compression hydrostatique en condition drainée jusqu'à la pression critique, égale à la moitié de la pression de consolidation,
- un trajet non-drainé en maintenant les contraintes latérales sur l'échantillon et en imposant un déplacement vertical de compression qui induit un état de contraintes triaxial jusqu'au point critique.

La modélisation C est caractérisée par :
- un trajet de compression hydrostatique en condition drainée jusqu'à une pression inférieure à la pression critique,
- un trajet non-drainé en maintenant les contraintes latérales sur l'échantillon et en imposant un déplacement vertical de compression qui induit un état de contraintes triaxial dilatant plastique.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



hauteur : $h=1\mathrm{m}$
largeur : $l=1\,m$
épaisseur : $e=1\,m$

1.2 Propriétés du matériau

Paramètres spécifiques à CAM_CLAY :

$\mu=6.10^{6}$, $\mathrm{PORO}=0.14$, $\lambda=0.25$, $\kappa=0.05$, $M=0.9$, $\mathrm{PRES_CRIT}=3.10^{5}\,Pa$, $K_{cam}=0$, $P_{trac}=0$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Le premier trajet de chargement est effectué avec un état de contraintes hydrostatiques : $\sigma_{xx}=\sigma_{yy}=\sigma_{zz}=P$. On fait un premier calcul élastique jusqu'à $P=PA$ (pour établir un état initial plastiquement admissible). On augmente ensuite P jusqu'à $P_{\sup}$, la pression de l'eau est maintenue nulle $PRE1=0$ (condition drainée). Pour le second trajet, on maintient la pression P sur les faces latérales et on impose ensuite un déplacement imposé vertical en compression pour modéliser un essai triaxial, le calcul est maintenant non drainé, ce qui correspond à un flux hydrostatique nul sur toutes les faces.

Pour la modélisation A : $P_{\sup}=P_{\mathrm{consolidation}}=6.10^{5}\,Pa=2\,P_{cr}$ (état final contractant)

Pour la modélisation B : $P_{\sup}=P_{cr}$ (état final critique à variation volumique nulle)

Pour la modélisation C : $P_{\sup}=2.10^{5}\,Pa<P_{cr}$ (état final dilatant)

1.4 Conditions initiales

La condition de compatibilité plastique exige qu'à l'état initial la contrainte hydrostatique soit strictement supérieure à zéro. Pour initialiser cette contrainte, on a choisi d'effectuer au départ un calcul purement élastique en faisant évoluer la pression de $0.$ à $1.\mathrm{E}5\,Pa$. On extrait de ce calcul uniquement le champ de contraintes aux points de gauss. Ce champ de contraintes issu du calcul élastique est considéré comme l'état initial de la contrainte hydrostatique nécessaire à la loi Cam_Clay du calcul suivant.

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

2 Solution de référence

Une solution exacte existe tant que le chargement est hydrostatique (cf. SSNV160). Pour le deuxième trajet triaxial, une solution analytique n'est pas évidente à trouver. De même, on ne dispose pas des données et de résultats d'essais expérimentaux triaxiaux permettant de les comparer avec les calculs. Ce test est un test de non-régression.

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

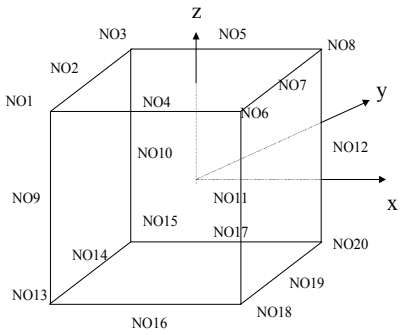
3 Modélisation A

La modélisation A est caractérisée par :

- un trajet de compression hydrostatique en condition drainée jusqu'à la pression de consolidation,
- un trajet non-drainé en maintenant les contraintes latérales sur l'échantillon et en imposant un déplacement vertical de compression qui induit un état de contraintes triaxial, et un régime plastique contractant.

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D



3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 20
Nombre de mailles : 1 de type HEXA 20
6 de type QUAD 8

On définit les mailles suivantes :

DROITE	*NO3 NO5 NO8 NO10 NO12 NO15 NO17 NO20*
GAUCHE	*NO1 NO4 NO6 NO9 NO11 NO13 NO16 NO18*
DEVANT	*NO6 NO7 NO8 NO11 NO12 NO18 NO19 NO20*
DERRIERE	*NO1 NO2 NO3 NO9 NO10 NO13 NO14 NO15*
BAS	*NO13 NO14 NO15 NO16 NO17 NO18 NO19 NO20*
HAUT	*NO1 NO2 NO3 NO4 NO5 NO6 NO7 NO8*

Pour représenter le 1/8ème de la structure, les conditions aux limites en déplacement imposés sont :

Sur la face BAS : $DZ=0$
Sur la face $GAUCHE$: $DY=0$
Sur la face $DERRIERE$: $DX=0$

Le chargement est constitué de la même pression répartie en compression sur les 3 mailles : $HAUT$, $DROITE$ et $DEVANT$ pour simuler un essai hydrostatique, et d'une pression d'eau nulle pour simuler la condition de drainage ($PRE1=0$). Ensuite, la pression répartie est maintenue constante sur les faces latérales $DROITE$ et $DEVANT$, un déplacement DZ est imposé sur la

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

face $HAUT$ variable avec le temps, et on change le chargement hydraulique (flux nul) pour simuler la condition non drainée.

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

3.3 Grandeurs testées et résultats

Les composantes σ_{xx}, σ_{yy} et σ_{zz} de la contrainte sont testées aux instants 3., 6., 15. et 20. et la valeur de la pression de l'eau $PRE1$ à l'instant 20 au nœud $NO8$. Les valeurs de référence sont des valeurs de non-régression.

Valeurs de σ_{xx} et σ_{yy} :

	Instant	Référence	*Aster*
1 er chargement	3.	Non régression	–3.000000+05
1 er chargement	6.	Non régression	–6.000000+05
2eme chargement	15.	Non régression	-2.42065+05
2eme chargement	20.	Non régression	-2.413841+05

Valeurs de σ_{zz} :

	Instant	Référence	*Aster*
1 er chargement	3.	Non régression	–3.000000+05
1 er chargement	6.	Non régression	–6.000000+05
2eme chargement	15.	Non régression	-5.520378+05
2eme chargement	20.	Non régression	-5.514999+05

Valeurs de $PRE1$:

	Instant	Référence	*Aster*
2emechargement	20.	Non régression	3.586158+05

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

4 Modélisation B

La modélisation B est caractérisée par :

- un trajet de compression hydrostatique en condition drainée jusqu'à la pression critique, égale à la moitié de la pression de consolidation,
- un trajet non-drainé en maintenant les contraintes latérales sur l'échantillon et en imposant un déplacement vertical de compression qui induit un état de contraintes triaxial jusqu'au point critique.

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Idem modélisation A

4.2 Caractéristiques du maillage

Idem modélisation A

4.3 Grandeurs testées et résultats

Les composantes σ_{xx}, σ_{yy} et σ_{zz} de la contrainte sont testées aux instants 3., 6., 15. et 20. et la valeur de la pression de l'eau $PRE1$ à l'instant 20 au nœud $NO8$. Les valeurs de référence sont des valeurs de non-régression.

Valeurs de σ_{xx} et σ_{yy} :

	Instant	Référence	*Aster*
1 er chargement	3.	Non régression	–2.000000+05
1 er chargement	6.	Non régression	–3.000000+05
2eme chargement	15.	Non régression	–2.099999 +05
2eme chargement	20.	Non régression	–2.100000+05

Valeurs de σ_{zz} :

	Instant	Référence	*Aster*
1 er chargement	3.	Non régression	–2.000000+05
1 er chargement	6.	Non régression	–3.000000+05
2eme chargement	15.	Non régression	–4.799999+05
2eme chargement	20.	Non régression	–4.800000 +05

Valeurs de $PRE1$:

	Instant	Référence	*Aster*
2emechargement	20.	Non régression	9.00000+E4

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

5 Modélisation C

La modélisation C est caractérisée par :

- un trajet de compression hydrostatique en condition drainée jusqu'à une pression inférieure à la pression critique,
- un trajet non-drainé en maintenant les contraintes latérales sur l'échantillon et en imposant un déplacement vertical de compression qui induit un état de contraintes triaxial dilatant plastique.

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Idem modélisation A

5.2 Caractéristiques du maillage

Idem modélisation A

5.3 Grandeurs testées et résultats

Les composantes σ_{xx}, σ_{yy} et σ_{zz} de la contrainte sont testées aux instants 3., 6., 15. et 20. et la valeur de la pression de l'eau $PRE1$ à l'instant 20 au nœud $NO8$. Les valeurs de référence sont des valeurs de non-régression.

Valeurs de σ_{xx} et σ_{yy} :

	Instant	Référence	*Aster*
1 er chargement	3.	Non régression	–2.000000+05
1 er chargement	6.	Non régression	–2.200000+05
2eme chargement	15.	Non régression	-1.800162+05
2eme chargement	20.	Non régression	-1.958830+05

Valeurs de σ_{zz} :

	Instant	Référence	*Aster*
1 er chargement	3.	Non régression	–2.000000+05
1 er chargement	6.	Non régression	–2.200000+05
2eme chargement	15.	Non régression	-4.369201+05
2eme chargement	20.	Non régression	-4.499510+05

Valeurs de $PRE1$:

	Instant	Référence	*Aster*
2emechargement	20.	Non régression	2.411696+04

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

6 Synthèse des résultats

En interprétant le diagramme (P,Q), $P=\frac{-tr(\sigma)}{3}$ et $Q=-(\sigma_3-\sigma_1)$ pour les trois modélisations de ce cas-test, on constate bien que dans la modélisation A [Figure 6-a], le chargement reste hydrostatique jusqu'à une valeur de $6.E^5\,Pa$. Une fois que le déplacement vertical est imposé et varie avec le temps, les pressions sur les faces latérales étant maintenues constantes, un déviateur de contraintes est induit et augmente avec le temps avec un écrouissage positif. Quand on se rapproche du point $Q=MP$, on tend vers la plasticité parfaite avec écoulement plastique sans écrouissage et sans variation de contraintes (voir [§6] de la doc [R7.01.14]).

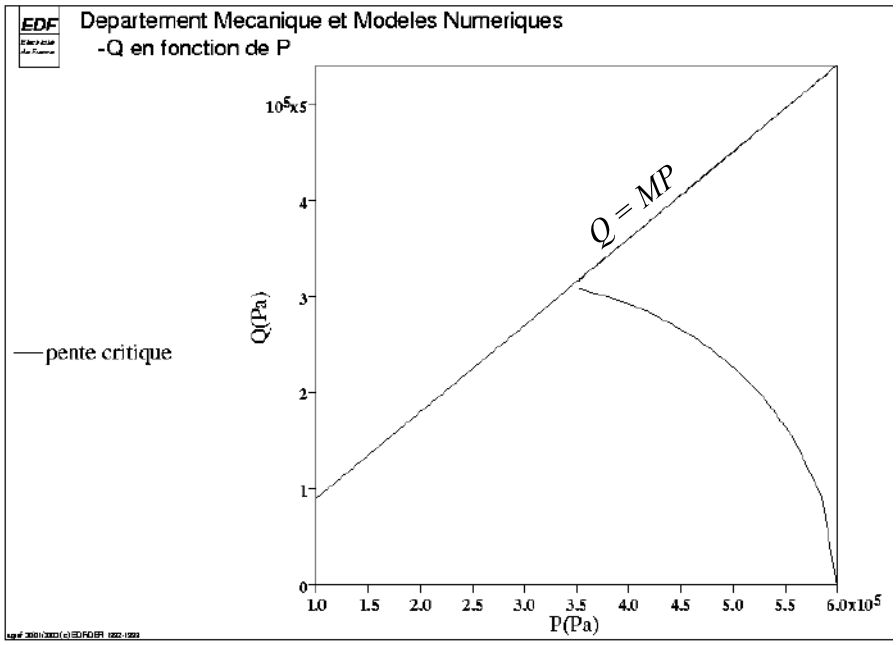


Figure 6-a : Q en fonction de P (modélisation A)

Dans la modélisation B [Figure 6-b], après un chargement hydrostatique qui atteint la pression critique à $3.E^5\,Pa$, le deuxième chargement est seulement déviatorique avec une pression hydrostatique maintenue à $3.E^5\,Pa$. Quand on atteint le point critique, on touche la pente critique, où la plasticité est parfaite avec écoulement plastique sans écrouissage et sans variation de contraintes.

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

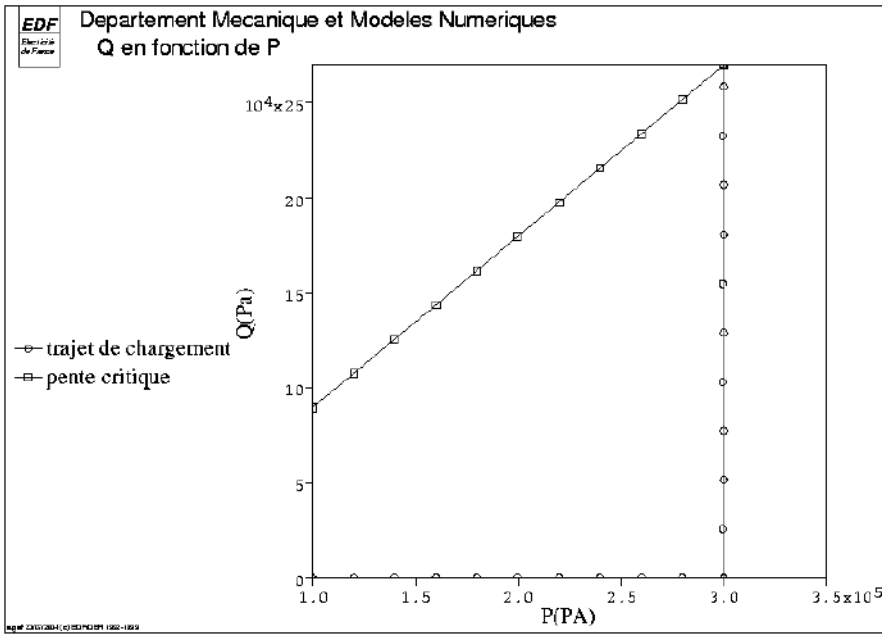


Figure 6-b : Q en fonction de P (modélisation B)

Dans la modélisation C [Figure 6-c], le déplacement vertical est imposé avant que le chargement hydrostatique ait atteint la pression critique. Le déviateur des contraintes varie avec le temps, pendant que les pressions sur les faces latérales sont maintenues constantes. Comme le critère de plasticité est atteint dans le domaine de la dilatance, l'écrouissage est négatif et le déviateur des contraintes diminue avec le temps.

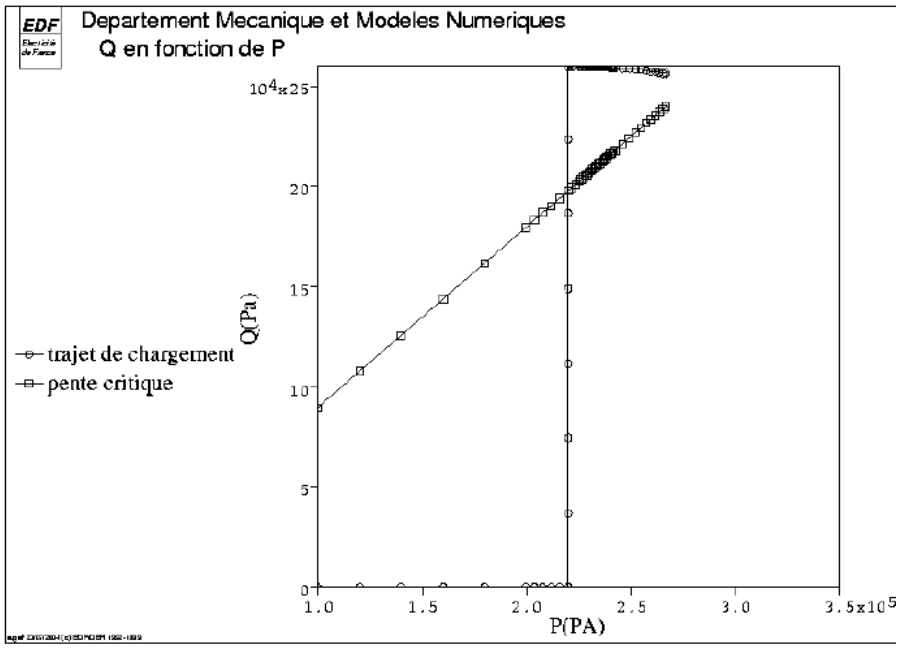


Figure 6-c : Q en fonction de P (modélisation C)

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