

**Manuel de Validation****Fascicule V6.04 : Statique non linéaire des structures volumiques****Document : V6.04.160**

# **SSNV160 - Essai hydrostatique avec la loi CAM\_CLAY**

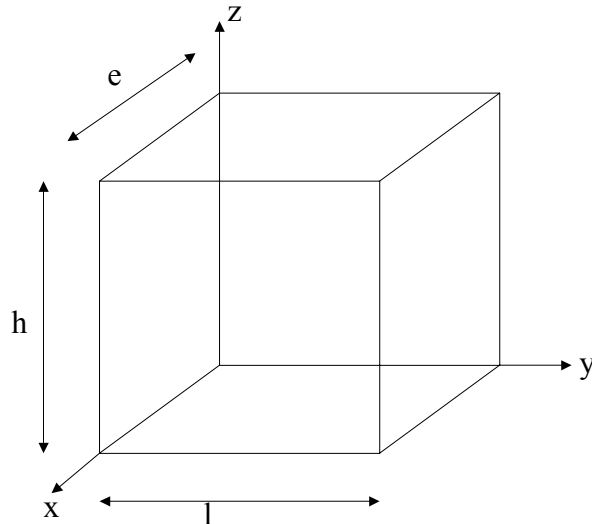
---

**Résumé :**

Ce test permet de valider la loi mécanique élasto-plastique Cam\_Clay spécifique aux sols normalement consolidés dont la partie élastique est non-linéaire et la partie plastique est durcissante ou adoucissante. Ce test est un essai de compression hydrostatique. Ces résultats sont comparés à une solution analytique pour les deux modélisations 3D et axisymétrique. Les modélisations a et b qui faisaient appel à la recherche linéaire sont résorbées, c'est pourquoi seules les modélisations c et d sont rédigées.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie



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

### 1.2 Propriétés du matériau

$$E = 4.2E7 \text{ Pa}$$

$$\nu = 0.285$$

$$\alpha = 0.$$

Paramètres spécifiques à CAM\_CLAY :

$$PORO = 0.14, \lambda = 0.25, \kappa = 0.05, M = 0.9, PRES\_CRIT = 3.E5 \text{ Pa}, PA = 1.E5 \text{ Pa}$$

### 1.3 Conditions aux limites et chargements

L'essai hydrostatique est effectué avec un état de contraintes homogènes :  $\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz} = P$ . On fait un premier calcul élastique jusqu'à  $P = PA$ . On augmente ensuite  $P$  jusqu'à  $P_{sup}$  en effectuant un chargement avec Cam\_Clay suivi d'une décharge jusqu'à  $PA$ .

### 1.4 Conditions initiales

Dans CAM\_CLAY, la loi élastique exige une contrainte hydrostatique à l'état initial (la déformation étant nulle).

Pour initialiser cette contrainte, on a choisi d'effectuer au départ un calcul purement élastique en faisant évoluer la pression de 0. à 1.E5 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.

## 2 Solution de référence

### 2.1 Méthode de calcul

Dans un essai hydrostatique :  $\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz}$  et la contrainte hydrostatique est  $P = -\frac{tr(\sigma)}{3}$  (convention de la mécanique des sols).

Pour le calcul de la déformation volumique totale, on distingue les deux cas :

**1<sup>er</sup> cas** : Cas de l'élasticité non-linéaire, la pression hydrostatique est inférieure à la pression de consolidation :

$$P_{atm} < P < 2P_{cr0} = P_{consolidation}$$

$$P = P_{atm} \exp(k_0 \varepsilon_v^e) \quad \text{ou} \quad \varepsilon_v^e = \frac{1}{k_0} \ln \frac{P}{P_{atm}}$$

dans ce cas la déformation totale est égale à la déformation élastique :  $\varepsilon_v = \varepsilon_v^e$

**2<sup>ème</sup> cas** : Cas de la plasticité, la pression hydrostatique a dépassé la pression de consolidation, il y a donc durcissement :

$$P > 2P_{cr} = P_{consolidation}, \quad P = 2P_{cr} \text{ après plastification.}$$

et la pression critique évolue comme suit

$$P_{cr} = P_{cr0} \exp(k \varepsilon_v^p)$$

$$\text{et la déformation volumique : } \varepsilon_v^p = \frac{1}{k} \ln \frac{P_{cr}}{P_{cr0}} = \frac{1}{k} \ln \frac{P}{2P_{cr0}}$$

Dans ce cas, il faut prendre en compte la déformation plastique dans le calcul de la déformation totale

$$: \varepsilon_v = \varepsilon_v^e + \varepsilon_v^p = \frac{1}{k_0} \ln \frac{P}{P_{atm}} + \frac{1}{k} \ln \frac{P}{2P_{cr0}}$$

### 2.2 Grandeurs et résultats de référence

L'essai est homogène. On teste la déformation volumique en un nœud quelconque où les composantes sont égales :  $\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz}$

### 2.3 Incertitudes sur la solution

Aucune. Résultat analytique exact.

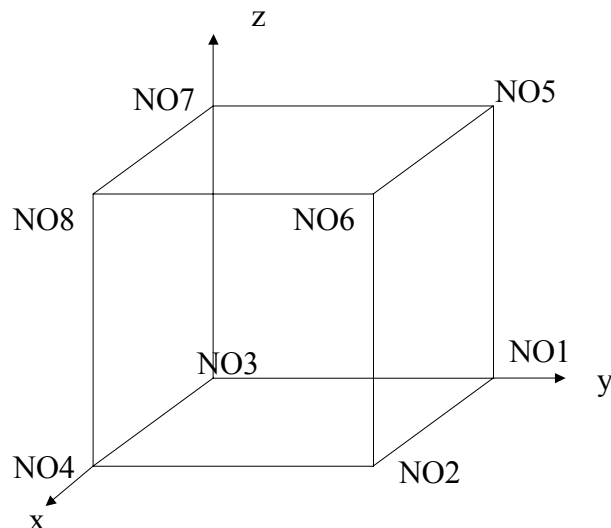
### 2.4 Référence bibliographique

[1] Charlez Ph. A. (Rapport Total) : exemple de modèle poroplastique : le modèle de Cam\_Clay

### 3 Modélisation C

#### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D



#### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8  
Nombre de mailles : 1 de type HEXA 8  
6 de type QUAD 4

On définit les mailles suivantes :

ARRIERE	NO1 NO3 NO7 NO5
AVANT	NO2 NO6 NO8 NO4
DROITE	NO1 NO5 NO6 NO2
GAUCHE	NO3 NO4 NO8 NO7
BAS	NO1 NO2 NO4 NO3
HAUT	NO5 NO7 NO8 NO6

Pour représenter la 1/8<sup>ème</sup> de la structure, les conditions aux limites en déplacement imposées sont :

Sur les nœuds NO1, NO2, NO4 et NO3 :  $DZ = 0$   
Sur les nœuds NO3, NO4, NO8 et NO7 :  $DY = 0$   
Sur les nœuds NO2, NO6, NO8 et NO4 :  $DX = 0$

Le chargement est constitué de la même pression répartie en compression sur les 3 mailles : 'HAUT', 'DROITE' et 'ARRIERE' pour simuler un essai hydrostatique.

### 3.3 Fonctionnalités testées

#### Commandes

DEFI_MATERIAU	CAM_CLAY	
STAT_NON_LINE	COMP_INCR NEWTON	RELATION= 'CAM_CLAY' MATRICE = TANGENTE REAC_ITER

### 3.4 Grandeurs testées et résultats

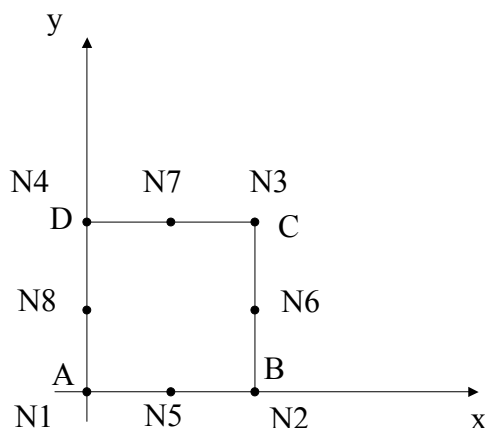
La composante  $\varepsilon_{xx}$  au nœud NO6 a été testée, dans ce cas  $\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz}$

Instant	Référence	Aster	Différence (%)
5000.	-2.30686 -02	-2.3068616551409 -02	7.17-05
6000.	-2.56819 -02	-2.5681930900741 -02	1.20-04
6500.	-3.14183 -02	-3.1418280283251 -02	-6.28-05
7000.	-3.67294 -02	-3.6729351192775 -02	-1.33-04
7500.	-4.16738 -02	-4.1673840301798 -02	9.67-05
8000.	-4.62991 -02	-4.6299103361551 -02	7.26-06
9000.	-4.21757 -02	-4.2175660318354 -02	-9.41-05
10000.	-1.64938 -02	-1.6493780906496 -02	-1.16-04

## 4 Modélisation D

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation axisymétrique



### 4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 8  
 Nombre de mailles : 1 de type QUAD 8  
 4 de type SEG3

On définit les mailles suivantes : AB, BC, CD et DA

Pour représenter  $\frac{1}{4}$  de la structure, on met les conditions aux limites suivantes :

Sur AB :  $DY = 0$

Sur AD :  $DX = 0$

On impose une pression égale sur les mailles BC et CD pour simuler un test hydrostatique.

### 4.3 Fonctionnalités testées

Commandes	Mot clé
DEFI_MATERIAU	CAM_CLAY
STAT_NON_LINE	COMP_INCR NEWTON
	RELATION='CAM_CLAY' MATRICE = TANGENTE

## 4.4 Grandeurs testées et résultats

La composante  $\varepsilon_{xx}$  au nœud C a été testée, dans ce cas  $\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz}$

Instant	Référence	Aster	Différence (%)
5000.	-2.30686 -02	-2.3068616551409 -02	7.17-05
6000.	-2.56819 -02	-2.5681930900741 -02	1.20-04
6500.	-3.14183 -02	-3.1418280283251 -02	-6.28-05
7000.	-3.67294 -02	-3.6729351192775 -02	-1.33-04
7500.	-4.16738 -02	-4.1673840301798 -02	9.67-05
8000.	-4.62991 -02	-4.6299103361551 -02	7.26-06
9000.	-4.21757 -02	-4.2175660318354 -02	-9.41-05
10000.	-1.64938 -02	-1.6493780906496 -02	-1.16-04

## 5 Synthèse des résultats

---

Les valeurs obtenues avec le *Code\_Aster* sont en accord avec les valeurs de la solution analytique de référence.