

## SSNV184 - Essai triaxial avec le modèle de Hoek-Brown modifié

---

### Résumé

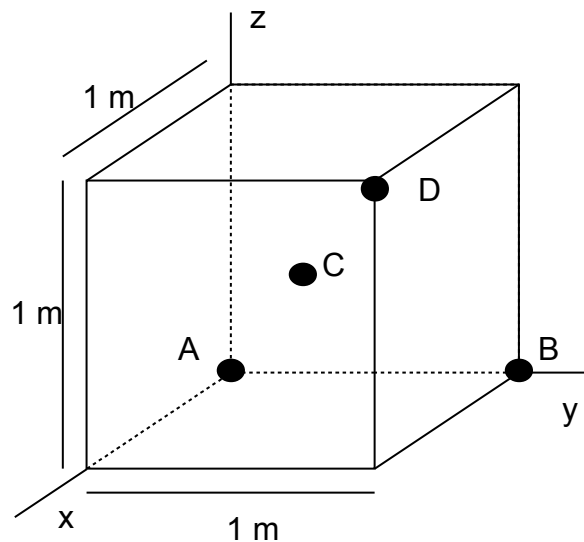
Ce test permet de valider la loi de comportement élasto-plastique de Hoek-Brown modifiée en mécanique des roches. Il s'agit d'un essai triaxial pour lequel les calculs sont effectués en mécanique pure. Trois niveaux de confinement sont appliqués :  $5\text{ MPa}$  ,  $12\text{ MPa}$  et  $25\text{ MPa}$  . Pour des raisons de symétrie, on ne s'intéresse qu'au huitième d'un échantillon soumis à un essai triaxial.

Il s'agit d'un test de non-régression.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

On considère ici un cube de dimension  $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ .



Coordonnées des points (en  $m$ ) :

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>x</i>	0	0	0.5	1
<i>y</i>	0	1	0.5	1
<i>z</i>	0	0	0.5	1

### 1.2 Propriétés du matériau

Paramètres de la loi de comportement élastique :

$$E = 4500 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0.3$$

Paramètres de la loi de Hoek-Brown modifiée :

$$\gamma^{rup} = 0.005$$

$$\gamma^{res} = 0.017$$

$$(S \sigma_c^2)^{end} = 225 \text{ MPa}^2$$

$$(S \sigma_c^2)^{rup} = 482.5675 \text{ MPa}^2$$

$$(m \sigma_c)^{end} = 13.5 \text{ MPa}$$

$$(m \sigma_c)^{rup} = 83.75 \text{ MPa}$$

$$\beta = 3 \text{ MPa}$$

$$\phi^{rup} = 15^\circ$$

$$\phi^{res} = 30^\circ$$

$$\alpha = 3.3$$

## 1.3 Conditions initiales, aux limites et chargement

Le test se décompose en deux phases :

- 1) Dans un premier temps, on amène l'échantillon à un état homogène  $\sigma_{xx}^0 = \sigma_{yy}^0 = \sigma_{zz}^0$ . Pour cela, la pression de confinement correspondante est imposée sur les faces avant ( $x = 1$ ), latérale droite ( $y = 1$ ) et supérieure ( $z = 1$ ), tandis que les déplacements sont pris nuls sur les faces arrière ( $u_x|_{x=0} = 0$ ), latérale gauche ( $u_y|_{y=0} = 0$ ) et inférieure ( $u_z|_{z=0} = 0$ ).
- 2) Une fois l'état homogène obtenu, les déplacements sont maintenus bloqués sur les faces arrière, latérale gauche et inférieure et la pression de confinement est toujours imposée sur les faces avant et latérale droite. Un déplacement est imposé sur la face supérieure ( $u_z(t)$ ) de façon à obtenir une déformation  $\varepsilon_{zz}$  égale à  $-25\%$  à partir du début de la deuxième phase (à  $t=2$ ). L'incrément de déformation est pris constant :  $\Delta\varepsilon_{zz} = -2.5E - 4$  pour les modélisations A et B, et  $\Delta\varepsilon_{zz} = -3.33E - 4$  pour la modélisation C.

## 2 Solution de référence

### 2.1 Calcul de solution

La valeur de la contrainte principale majeure peut être calculée au point de rupture ( $\gamma^{rup}$ ) et à la résistance résiduelle ( $\gamma^{res}$ ) à partir de l'expression du déviateur de contrainte :

$$|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup} = \sqrt{(S\sigma_c^2)^{rup} - \sigma_3(m\sigma_c)^{rup}}$$

$$|\sigma_1 - \sigma_3|^{res} = \sqrt{(S\sigma_c^2)^{res} - \sigma_3(m\sigma_c)^{res}} - b^{res} \left[ 1 - \frac{\sigma_3}{\sigma_3^{b-d}} \right]$$

$$\text{avec } \sigma_3^{b-d} = \frac{-(m\sigma_c)^{rup} - \sqrt{((m\sigma_c)^{rup})^2 + 4(1-\alpha)^2(S\sigma_c^2)^{rup}}}{2(1-\alpha)^2} \text{ et } b^{res} = \beta - \sqrt{(S\sigma_c^2)^{rup}}$$

### 2.2 Résultats de référence

Contraintes  $\sigma_{xx}(\sigma_3)$ ,  $\sigma_{yy}(\sigma_1)$  et  $\sigma_{zz}(\sigma_3)$  au point  $D$ .

Déplacements  $\varepsilon_{xx}(\varepsilon_3)$  et  $\varepsilon_{zz}(\varepsilon_1)$  au point  $D$ .

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D

Découpage : 1m en hauteur, 1m en largeur

Chargement de la phase 1 :  $\sigma_{xx}^0 = \sigma_{yy}^0 = \sigma_{zz}^0 = -5$  MPa (pression de confinement)

Conditions aux limites :  $u_x|_{x=0} = u_y|_{y=0} = u_z|_{z=0} = 0$

### 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 20

Nombre de mailles et types : 6 QUAD8 et 1 HEXA20

### 3.3 Grandeurs testées et résultats

Rupture :

Valeur de référence :  $|\sigma_1 - \sigma_3|_{ref}^{rup} = 30.0219$

Valeur du Code\_Aster :  $|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup} = 29.7520$  (numéro d'ordre : 43)

Ecart relatif réf - Code\_Aster : 0.90 %

Résistance résiduelle :

Valeur de référence :  $|\sigma_1 - \sigma_3|_{ref}^{rup} = 15.7215$

Valeur du Code\_Aster :  $|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup} = 15.7215$  (numéro d'ordre : 65)

Localisation	Numéro d'ordre	Contrainte (MPa)	Code_Aster
Point <i>D</i>	12	$\sigma_{xx}$	-5.00
	40	$\sigma_{xx}$	-5.00
	12	$\sigma_{yy}$	-5.00
	40	$\sigma_{yy}$	-5.00
	12	$\sigma_{zz}$	-18.5
	16	$\sigma_{zz}$	-22.4982
	30	$\sigma_{zz}$	-29.0442
	43	$\sigma_{zz}$	<b>-34.7520</b>
	45	$\sigma_{zz}$	-31.3756
	50	$\sigma_{zz}$	-24.4274
	55	$\sigma_{zz}$	-21.6325
	65	$\sigma_{zz}$	<b>-20.7215</b>

Localisation	Numéro d'ordre	Déformation	Code_Aster
--------------	----------------	-------------	------------

Point D	12	$\epsilon_{xx}$	0.9 E-3
	16	$\epsilon_{xx}$	1.22296 E-3
	30	$\epsilon_{xx}$	2.82301 E-3
	43	$\epsilon_{xx}$	4.59944 E-3
	45	$\epsilon_{xx}$	5.39287 E-3
	50	$\epsilon_{xx}$	7.41788 E-3
	55	$\epsilon_{xx}$	9.07385 E-3
	65	$\epsilon_{xx}$	11.9257 E-3
	12	$\epsilon_{zz}$	-3 E-3
	65	$\epsilon_{zz}$	-16.25 E-3

## 4 Modélisation B

### 4.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D

Découpage : 1m en hauteur, 1m en largeur

Chargement de la phase 1 :  $\sigma_{xx}^0 = \sigma_{yy}^0 = \sigma_{zz}^0 = -12$  MPa (pression de confinement)

Conditions aux limites :  $u_x|_{x=0} = u_y|_{y=0} = u_z|_{z=0} = 0$

### 4.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 20

Nombre de mailles et types : 6 QUAD8 et 1 HEXA20

### 4.3 Grandeurs testées et résultats

Rupture :

Valeur de référence :  $|\sigma_1 - \sigma_3|_{ref}^{rup} = 38.5690$

Valeur du Code\_Aster :  $|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup} = 38.4447$  (numéro d'ordre : 51)

Ecart réf - Code\_Aster : 0.32 %

Résistance résiduelle :

Valeur de référence :  $|\sigma_1 - \sigma_3|_{ref}^{rup} = 30.8023$

Valeur du Code\_Aster :  $|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup} = 30.8023$  (numéro d'ordre : 80)

Localisation	Numéro d'ordre	Contrainte (MPa)	Code_Aster
Point <i>D</i>	16	$\sigma_{xx}$	-12.00
	50	$\sigma_{xx}$	-12.00
	16	$\sigma_{yy}$	-12.00
	50	$\sigma_{yy}$	-12.00
	16	$\sigma_{zz}$	-30
	20	$\sigma_{zz}$	-33.2264
	40	$\sigma_{zz}$	-44.5889
	51	$\sigma_{zz}$	<b>-50.4447</b>
	55	$\sigma_{zz}$	-48.0512
	60	$\sigma_{zz}$	-45.5579
	70	$\sigma_{zz}$	-43.0472
	80	$\sigma_{zz}$	<b>-42.8023</b>

Localisation	Numéro d'ordre	Déformation	Code_Aster
--------------	----------------	-------------	------------

Point <i>D</i>	16	$\epsilon_{xx}$	1.2 E-3
	20	$\epsilon_{xx}$	1.56091 E-3
	40	$\epsilon_{xx}$	3.78317 E-3
	51	$\epsilon_{xx}$	5.22869 E-3
	55	$\epsilon_{xx}$	6.32002 E-3
	60	$\epsilon_{xx}$	7.74068 E-3
	70	$\epsilon_{xx}$	10.5716 E-3
	80	$\epsilon_{xx}$	13.3372 E-3
	16	$\epsilon_{zz}$	-4 E-3
	80	$\epsilon_{zz}$	-2E-2



## 5 Modélisation C

### 5.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation 3D

Découpage : 1m en hauteur, 1m en largeur

Chargement de la phase 1 :  $\sigma_{xx}^0 = \sigma_{yy}^0 = \sigma_{zz}^0 = -25$  MPa (pression de confinement)

Conditions aux limites :  $u_x|_{x=0} = u_y|_{y=0} = u_z|_{z=0} = 0$

### 5.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 20

Nombre de mailles et types : 6 QUAD8 et 1 HEXA20

### 5.3 Grandeurs testées et résultats

Rupture :

Valeur de référence :  $|\sigma_1 - \sigma_3|_{ref}^{rup} = 50.7574$

Valeur du Code\_Aster :  $|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup} = 50.3064$  (numéro d'ordre : 46)

Ecart réf - Code\_Aster : 0.89 %

Résistance résiduelle :

Valeur de référence :  $|\sigma_1 - \sigma_3|_{ref}^{rup} = 55.1249$

Valeur du Code\_Aster :  $|\sigma_1 - \sigma_3|^{rup} = 55.1249$  (numéro d'ordre : 81)

Localisation	Numéro d'ordre	Contrainte (MPa)	Code_Aster
Point <i>D</i>	18	$\sigma_{xx}$	- 25.00
	81	$\sigma_{xx}$	- 25.00
	18	$\sigma_{yy}$	- 25.00
	81	$\sigma_{yy}$	- 25.00
	18	$\sigma_{zz}$	-50.8398
	24	$\sigma_{zz}$	-56.4340
	36	$\sigma_{zz}$	-66.9436
	46	$\sigma_{zz}$	<b>-75.3064</b>
	54	$\sigma_{zz}$	-77.6467
	66	$\sigma_{zz}$	-79.7633
	81	$\sigma_{zz}$	<b>-80.1249</b>
	Localisation	Numéro d'ordre	Déformation
Point <i>D</i>	18	$\varepsilon_{xx}$	1.85408 E-3

24	$\epsilon_{xx}$	2.63445 E-3
36	$\epsilon_{xx}$	4.35497 E-3
46	$\epsilon_{xx}$	5.98034 E-3
54	$\epsilon_{xx}$	7.90516 E-3
66	$\epsilon_{xx}$	11.3535 E-3
81	$\epsilon_{xx}$	16.7102 E-3
18	$\epsilon_{zz}$	-6 E-3
36	$\epsilon_{zz}$	-12 E-3
81	$\epsilon_{zz}$	-27 E-3

## 6 Synthèse des résultats

---

Les résultats obtenus montrent un accord de la contrainte  $\sigma_1$  à la rupture et à la résistance résiduelle entre les valeurs calculées et celles obtenues avec *Code\_Aster*.

Ce cas test est un test de non-régression développé pour valider le modèle de Hoek-Brown modifié.