SSNV168 – Essai triaxial drainé avec un comportement DRUCK_PRAGER adoucissant

Résumé :

Ce cas test permet de simuler un essai triaxial drainé sur quatre modélisations différentes lors d'un calcul non linéaire. Cela permet de mettre en avant l'effet du type d'écrouissage négatif, parabolique ou linéaire, dans le cas de modèle AXIS ou 3D.

Modélisation A :
- modèle de type « DRUCK_PRAGER » à écrouissage négatif linéaire pour un confinement de $2\,MPa$.
- modèle AXIS avec des mailles QUAD4 .

Modélisation B :
- modèle de type « DRUCK_PRAGER » à écrouissage négatif parabolique pour un confinement de $2\,MPa$.
- modélisation AXIS avec des mailles QUAD4 .

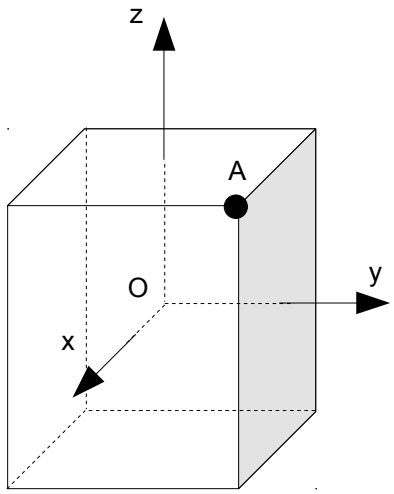
Modélisation C :
- modèle de type « DRUCK_PRAGER » à écrouissage négatif linéaire pour un confinement de $2\,MPa$.
- modélisation 3D avec des mailles HEXA20 .

Modélisation D:
- modèle de type « DRUCK_PRAGER » à écrouissage négatif parabolique pour un confinement de $2\,MPa$.
- modélisation 3D avec des mailles HEXA20 .

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



- Dimension du cube : $1\mathrm{m}\times 1\mathrm{m}\times 1\mathrm{m}$.
- Centre du cube : $O:(0.,0.,0.)$

1.2 Propriétés du matériau

- Élastique
  - $E=5800.0\,E6\,Pa$ Module d'Young
  - $\nu=0.3$ Coefficient de Poisson

- DRUCK_PRAGER avec écrouissage négatif linéaire
  - $\alpha=0.33$ Coefficient de dépendance en pression
  - $p_{ultm}=0.01$ Déformation plastique cumulée ultime
  - $\sigma^{Y}=2.57\,E6\,Pa$ Contrainte plastique
  - $h=-2.00\,E8\,Pa$ Module d'écrouissage

- DRUCK_PRAGER avec écrouissage négatif parabolique
  - $\alpha=0.33$ Coefficient de dépendance en pression
  - $p_{ultm}=0.01$ Déformation plastique cumulée ultime
  - $\sigma^{Y}=2.57\,E6\,Pa$ Contrainte plastique
  - $\sigma^{Y}_{ultm}=0.57\,E6\,Pa$ Contrainte ultime

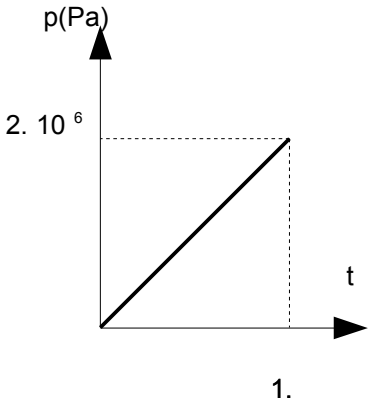
1.3 Conditions aux limites et chargements

Les conditions aux limites et les chargements appliqués sont les suivants :

- Étape A : $t\in[0,1.]$

  On applique progressivement une compression $p=2.10^{6}\,Pa$ sur 3 faces du cube (haut, devant, droite) suivant la fonction présentée sur la figure ci-dessous, et des conditions de symétrie sur les 3 autres faces (bas, derrière, gauche).

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

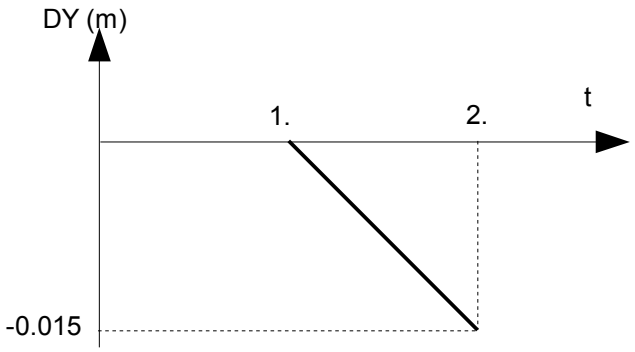


- Étape B: $t \in]1,2.]$

  A partir de l'état de contrainte à l'instant $t=1.s$, on applique sur les faces du cube les conditions suivantes:

  Déplacements imposés :

  - le déplacement varie progressivement sur la face de droite suivant la fonction présentée sur la figure ci-dessous:



  - Des conditions de symétrie sur les 3 faces (bas, derrière, gauche).

  Chargements imposés:

  On applique une pression de $p=2.10^6 Pa$ sur les 2 autres faces (devant et haut).

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

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

2.1.1 Déplacement DY

Le déplacement DY de référence au point A, correspond au déplacement imposé.

$$DY=-0.015(t-1)$$

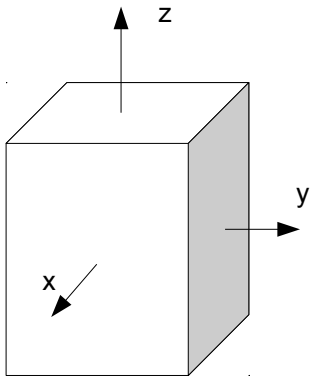
2.1.2 Contrainte $SIXX$

La contrainte $SIXX$ correspond au chargement appliqué.

2.1.3 Contrainte $SIYY$ et déformation plastique cumulée $V1$

Calcul triaxial en conditions drainées avec la loi de DRUCK_PRAGER .

Comparaison avec une solution analytique



$$\sigma_{eq}+\alpha I_1-R(p)=0$$

$$\sigma_{eq}+\alpha I_1-\sigma^Y=0 \text{ au sommet} \quad (1)$$

On impose $\sigma_{xx}=\sigma_{zz}=-2\,MPa=\sigma^0$

$$\sigma_{eq}=\sqrt{\frac{3}{2}S_{II}}$$

$$S=\begin{pmatrix}\sigma_{xx}-\frac{1}{3}tr\,\sigma\\ \sigma_{yy}-\frac{1}{3}tr\,\sigma\\ \sigma_{zz}-\frac{1}{3}tr\,\sigma\end{pmatrix} \text{ avec } tr\,\sigma=\sigma_{xx}+\sigma_{yy}+\sigma_{zz}=\sigma_{yy}+2\,\sigma^0$$

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

$$S=\begin{pmatrix}\sigma^0-\frac{1}{3}\sigma_{yy}-\frac{2}{3}\sigma^0\\ \sigma_{yy}-\frac{1}{3}\sigma_{yy}-\frac{2}{3}\sigma^0\\ \sigma^0-\frac{1}{3}\sigma_{yy}-\frac{2}{3}\sigma^0\end{pmatrix}=\frac{1}{3}\begin{pmatrix}-\sigma_{yy}+\sigma^0\\ 2\sigma_{yy}-2\sigma^0\\ -\sigma_{yy}+\sigma^0\end{pmatrix}$$

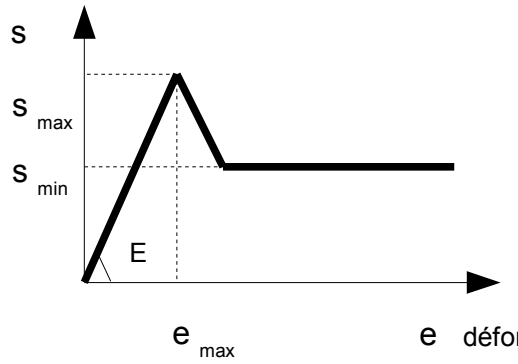
$$S_{II}=S.S=\frac{1}{3}\sqrt{2(\sigma_{yy}-\sigma^0)^2+(2\sigma_{yy}-2\sigma^0)^2}$$

$$\sigma_{eq}=\sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)}S_{II}$$

ce qui nous donne $\boxed{\sigma_{eq}=\left|(\sigma_{yy}-\sigma^0)\right|}$ (2)

En introduisant (2) dans (1) on obtient

$$\left|(\sigma_{yy}-\sigma^0)\right|+\alpha(\sigma_{yy}+2\sigma^0)-\sigma^Y=0$$



$$\epsilon_{max}\Rightarrow\ \epsilon_{max}=\frac{\sigma_{max}}{E}=\frac{\sigma_{xx}-\sigma_{yy}}{E}>0 \quad \Rightarrow\sigma_{xx}>\sigma_{yy}$$
$$\Rightarrow\sigma_{yy}<\sigma^0$$

d'où (2) => $(-\sigma_{yy}+\sigma^0)+\alpha(\sigma_{yy}+2.\sigma^0)-\sigma^Y=0$

$$\sigma_{max}\Rightarrow\ \boxed{\sigma_{yy}^{max}=\frac{\sigma^Y-\sigma^0(2\alpha+1)}{\alpha-1}}$$

d'où $\epsilon_{yy}^{max}=\frac{\sigma^0-\sigma_{yy}^{max}}{E}$, on remplace σ_{yy}^{max} par sa valeur et on obtient

$$\boxed{\epsilon_{max}^{yy}=\frac{3\alpha\sigma^0-\sigma^Y}{E(\alpha-1)}}$$

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

$$\sigma_{min} \Rightarrow \ \sigma_{eq}+\alpha I_1-R(p_{ultm})=0$$

$$\sigma_{yy}(\alpha-1)+\sigma^0(2\alpha+1)-R(p_{ultm})=0$$

$$\boxed{\sigma_{yy}^{min}=\frac{R(p_{ultm})-\sigma^0(2\alpha+1)}{\alpha-1}} \qquad (3)$$

$$\begin{cases} \epsilon-\epsilon^P=\frac{1+\nu}{E}\sigma-\frac{\nu}{E}(\mathrm{tr}\,\sigma).I \\ \sigma_{eq}+\alpha I_1-R(p)=0 \end{cases}$$

$$\dot{\epsilon^P}=\lambda\left(\frac{3}{2}\frac{S}{\sigma_{eq}}+\alpha I\right) \text{ avec } \lambda=\dot{p}$$

$$\text{or } S=\frac{1}{3}\begin{pmatrix} \sigma^0-\sigma_{yy} \\ 2\sigma_{yy}-2\sigma^0 \\ \sigma^0-\sigma_{yy} \end{pmatrix} \quad \sigma_{eq}=|\sigma_{yy}-\sigma^0|=\sigma^0-\sigma_{yy}$$

$$\text{d'où } \frac{S}{\sigma_{eq}}=\frac{1}{3}\begin{pmatrix} 1 \\ -2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\dot{\epsilon_x^p}=\dot{\epsilon_z^p}=\dot{p}\left(\frac{3}{2}\frac{1}{3}+\alpha\right)=\dot{p}\left(\alpha+\frac{1}{2}\right)$$

$$\dot{\epsilon_y^p}=\dot{p}\left(\frac{3}{2}(\frac{-2}{3})+\alpha\right)=\dot{p}(\alpha-1)$$

$$\Rightarrow \epsilon_y^p=p(\alpha-1)+cste$$

$$\epsilon_y-\epsilon_y^p=\frac{1+\nu}{E}\sigma^Y-\frac{\nu}{E}(\sigma^Y+2\sigma^0)$$

$$\epsilon_y^{max}-cste=\frac{1+\nu}{E}\sigma_{yy}^{max}-\frac{\nu}{E}(\sigma_{yy}^{max}+2\sigma^0)=\frac{\sigma_{yy}^{max}}{E}-\frac{2\nu}{E}\sigma^0$$

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

$$\frac{3\alpha\sigma^0-\sigma^Y}{E(\alpha-1)}-cste=\frac{1}{E}\left(\frac{\sigma^Y-\sigma^0(2\alpha+1)}{\alpha-1}\right)-\frac{2\nu}{E}\sigma^0$$

$$\boxed{cste=\frac{\sigma^0\left[(5-2\nu)\alpha+(1+2\nu)\right]-2\sigma^Y}{E(\alpha-1)}} \quad (4)$$

et

$$\boxed{\epsilon_y^p=p(\alpha-1)+cste}$$

d'où

$$\epsilon_y-\epsilon_y^p=\frac{1+\nu}{E}\sigma_{yy}-\frac{\nu}{E}(\sigma_{yy}+2\sigma^0)$$

$$\boxed{\epsilon_y-p(\alpha-1)-cste=\frac{1}{E}\sigma_{yy}-\frac{2\nu}{E}\sigma^0} \quad (5)$$

L'expression ci-dessous est une application directe de l'expression (5)

$$\epsilon_y^{min}=p_{ultm}(\alpha-1)+cste+\frac{\sigma_{yy}^{min}}{E}-2\frac{\nu}{E}\sigma^0 \quad (6)$$

En introduisant les expressions (3) et (4) dans (6) on obtient :

$$\boxed{\epsilon_y^{min}=p_{ultm}\left[\frac{E(\alpha-1)^2+h}{E(\alpha-1)}\right]+\frac{\sigma^Y}{E(1-\alpha)}+\sigma^0\left[\frac{3\alpha+4\nu(1-\alpha)}{E(\alpha-1)}\right]}$$

L'expression ci-dessous est une application directe de l'expression (5)

$$\boxed{p=\frac{-\sigma_{yy}}{E(\alpha-1)}+\frac{2\nu\sigma^0}{E(\alpha-1)}+\frac{\epsilon_y}{(\alpha-1)}-\frac{cste}{(\alpha-1)}} \quad (7)$$

Pour des raisons de simplification on pose

$$\boxed{p=A\sigma_{yy}+B}$$

avec

$$\begin{cases} A=\dfrac{1}{E(1-\alpha)} \\ B=\dfrac{2\nu\sigma^0}{E(\alpha-1)}+\dfrac{\epsilon_y}{\alpha-1}-\dfrac{cste}{\alpha-1} \end{cases}$$

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

en partant de l'équation $\sigma_{eq}+\alpha I_1-R(p)=0$

avec dans le cas :

- linéaire $R(p)=hp+\sigma^Y$
- parabolique $R(p)=\dfrac{6c\,f(p)\cos(\phi)}{3-\sin(\phi)}$

avec $f(p)=\begin{cases}\left(1-(1-\sqrt{\dfrac{\sigma^Y_{ultm}}{\sigma^Y}})\dfrac{p}{p_{ultm}}\right)^2 & \text{si } 0<p<p_{ultm}\\ \dfrac{\sigma^Y_{ultm}}{\sigma^Y} & \text{si } p_{ultm}<p\end{cases}$

Cas linéaire

$\sigma_{eq}+\alpha I_1-R(p)=0$ cas où $0<p<p_{ultm}$

$$\sigma_{yy}(\alpha-1)+\sigma^0(2\alpha+1)-hp-\sigma^Y=0 \qquad (8)$$

En introduisant l'expression de p (7) dans (8) on obtient l'expression suivante

$$\sigma_{yy}=\epsilon_y\left(\frac{E\,h}{h+E(\alpha-1)^2}\right)+\sigma^Y\left(\frac{E(\alpha-1)}{h+E(\alpha-1)^2}\right)+\sigma^0\left(\frac{2\nu\,h-(2\alpha+1)E(\alpha-1)}{h+E(\alpha-1)^2}\right)+\frac{hE.cste}{h+E(\alpha-1)^2}$$

Cas parabolique où $o<p<p_{ultm}$

$\sigma_{yy}(\alpha-1)+\sigma^0(2\alpha+1)-R(p)=0$

$R(p)=\left(1-(1-\alpha_2)\dfrac{p}{p_{ultm}}\right)^2\dfrac{6c\cos(\phi)}{3-\sin(\phi)}$

$R(p)=\sigma^Y\left(1-\left(1-\sqrt{\dfrac{\sigma^Y_{ultm}}{\sigma^Y}}\right)\dfrac{p}{p_{ultm}}\right)^2$

En remplaçant cette nouvelle expression de p (7) dans l'équation précédente

$$R(p)=\sigma^Y\left[1-\left(1-\sqrt{\frac{\sigma^Y_{ultm}}{\sigma^Y}}\right)\frac{A\,\sigma_{yy}+B}{p_{ultm}}\right]^2$$

en développant on obtient l'expression suivante:

$$R(p)=a\,\sigma_{yy}^2+b\,\sigma_{yy}+c$$

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

$$avec \begin{cases} a = \dfrac{A^2}{p_{ultm}^2}\left(1-\sqrt{\dfrac{\sigma^Y_{ultm}}{\sigma^Y}}\right)^2 \sigma^Y \\ b = -2\sigma^Y\left[1-\left(1-\sqrt{\dfrac{\sigma^Y_{ultm}}{\sigma^Y}}\right)\dfrac{B}{p_{ultm}}\right]\left[\dfrac{A}{p_{ultm}}\left(1-\sqrt{\dfrac{\sigma^Y_{ultm}}{\sigma^Y}}\right)\right] \\ c = \left[1-\left(1-\sqrt{\dfrac{\sigma^Y_{ultm}}{\sigma^Y}}\right)\dfrac{B}{p_{ultm}}\right]^2 \end{cases}$$

On trouve après simplification :

$$\sigma_{yy}(\alpha-1)+\sigma^0(2\alpha+1)-a\,\sigma_{yy}^2-b\,\sigma_{yy}-c=0$$

soit

$$a\,\sigma_{yy}^2+(1+b-\alpha)\sigma_{yy}+(c-\sigma^0(2\alpha+1))=0$$

Résolution du polynôme d'ordre 2 :

$$\Delta=(1+b-\alpha)^2-4a(c-\sigma^0(2\alpha+1))$$

$$\begin{cases} \sigma_1 = \dfrac{-(1+b-\alpha)-\sqrt{\Delta}}{2a} \\ \sigma_2 = \dfrac{-(1+b-\alpha)+\sqrt{\Delta}}{2a} \end{cases}$$

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

2.2 Grandeurs de référence

- Contrainte $SIXX$ au nœud A
- Contrainte $SIYY$ au nœud A
- Déformation plastique cumulée $V1$ au nœud A
- Déplacement DY au nœud A

2.3 Résultat de référence

Grandeur	Point	$Inst$	Référence*	Référence**
$SIXX\ (N/m^2)$	A	2.0	$-2.0\,E6$	$-2.0\,E6$
$SIYY\ (N/m^2)$	A	1.07	$-8.09\,E6$	$-8.09\,E6$
		1.16	$-8.20\,E6$	$-8.01\,E6$
		1.34	$-6.89\,E6$	$-6.63\,E6$
		1.53	$-5.80\,E6$	$-5.81\,E6$
$V1$	A	1.07	0	0
		1.16	$1.99\,E-3$	$2.04\,E-3$
		1.34	$6.35\,E-3$	$6.42\,E-3$
		1.53	$1.09\,E-2$	$1.09\,E-2$
$DY\ (m)$	A	1.07	$-1.05\,E-3$	$-1.05\,E-3$
		1.16	$-2.40\,E-3$	$-2.40\,E-3$
		1.34	$-5.10\,E-3$	$-5.10\,E-3$
		1.53	$-7.95\,E-3$	$-7.95\,E-3$

* écrouissage linéaire ** écrouissage parabolique

2.4 Incertitude sur la solution

Solution analytique

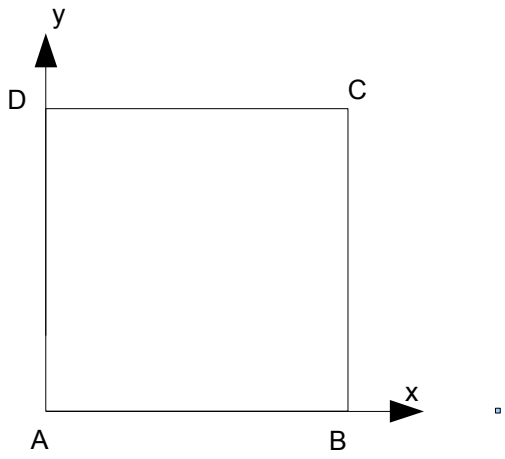
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation A

Modélisation AXIS.

Modèle de DRUCK_PRAGER à écrouissage négatif linéaire.



Nombre de nœuds 4

Nombre de mailles 5 Soit :

SEG2	4
QUAD4	1

Le carré est dans l'espace $[0.,1.]x[0.,1.]$.

Coordonnées des points (m) :

$A:(0.,0.)$
$B:(1.,0.)$
$C:(1.,1.)$
$D:(0.,1.)$

Mailles :

$M1$: surface $ABDC$
$M2$: segment AB
$M3$: segment BC
$M4$: segment CD
$M5$: segment DA

Groupes de nœuds :

A, B

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

3.2 Grandeurs testées et résultats

Grandeur	Point	$Inst$	Référence	Tolérance (%)
$SIXX\ (Pa)$	C	2.0	$-2.0\,E6$	0.1
$SIYY\,(Pa)$	C	1.07	$-8.09\,E6$	0.1
		1.16	$-8.20\,E6$	0.1
		1.34	$-6.89\,E6$	0.1
		1.53	$-5.80\,E6$	0.1
$V1$	C	1.07	0	0.1
		1.16	$1.99\,E-3$	0.1
		1.34	$6.35\,E-3$	0.1
		1.53	$1.09\,E-2$	0.1
$DY\ (m)$	C	1.07	$-1.05\,E-3$	0.1
		1.16	$-2.40\,E-3$	0.1
		1.34	$-5.10\,E-3$	0.1
		1.53	$-7.95\,E-3$	0.1

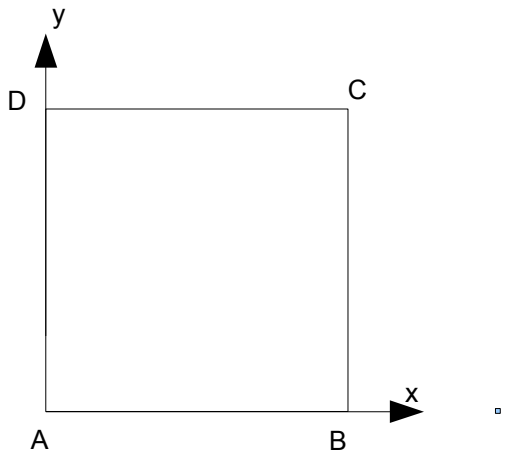
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation B

Modélisation AXIS.

Modèle de DRUCK_PRAGER à écrouissage négatif parabolique.



Nombre de nœuds 4

Nombre de mailles 5 Soit :

SEG2	4
QUAD4	1

Le carré est dans l'espace $[0.,1.]x[0.,1.]$.

Coordonnées des points (m) :

$A:(0.,0.)$
$B:(1.,0.)$
$C:(1.,1.)$
$D:(0.,1.)$

Mailles :

$M1$: surface $ABDC$
$M2$: segment AB
$M3$: segment BC
$M4$: segment CD
$M5$: segment DA

Groupes de nœuds:

A, B

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

4.2 Grandeurs testées et résultats

Grandeur	Point	$Inst$	Référence	Tolérance (%)
$SIXX\ (Pa)$	C	2.0	$-2.0\,E6$	0.1
$SIYY\,(Pa)$	C	1.07	$-8.09\,E6$	0.1
		1.16	$-8.01\,E6$	0.1
		1.34	$-6.63\,E6$	0.1
		1.53	$-5.81\,E6$	0.1
$V1$	C	1.07	0	0.1
		1.16	$2.04\,E-3$	0.1
		1.34	$6.42\,E-3$	0.1
		1.53	$1.09\,E-2$	0.1
$DY\ (m)$	C	1.07	$-1.05\,E-3$	0.1
		1.16	$-2.40\,E-3$	0.1
		1.34	$-5.10\,E-3$	0.1
		1.53	$-7.95\,E-3$	0.1

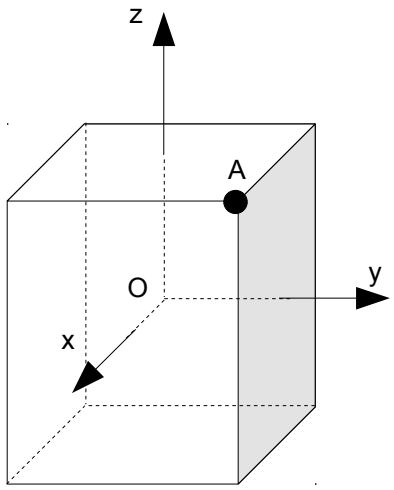
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation C

Modélisation 3D.

Modèle de DRUCK_PRAGER à écrouissage négatif linéaire.



Nombre de nœuds 20
Nombre de mailles 7 Soit :

QUAD8	6
HEXA20	1

Géométrie du cube (m) :

Centre $O(0.,0.,0.)$
Côté $C=1\,m$

Groupes de mailles :

BAS :	surface du cube appartenant au plan	$Z=-0.5$
$HAUT$:	surface du cube appartenant au plan	$Z=+0.5$
$DROITE$:	surface du cube appartenant au plan	$Y=+0.5$
$GAUCHE$:	surface du cube appartenant au plan	$Y=-0.5$
$DERRIERE$:	surface du cube appartenant au plan	$X=-0.5$
$DEVANT$:	surface du cube appartenant au plan	$X=+0.5$

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

5.2 Grandeurs testées et résultats

Grandeur	Point	*Inst*	Référence	Tolérance (%)
$SIXX\ (Pa)$	A	2.0	$-2.0\,E6$	0.1
$SIZZ(Pa)$	A	1.07	$-8.09\,E6$	0.1
		1.16	$-8.20\,E6$	0.1
		1.34	$-6.89\,E6$	0.1
		1.53	$-5.80\,E6$	0.1
$V1$	A	1.07	0	0.1
		1.16	$1.99\,E-3$	0.1
		1.34	$6.35\,E-3$	0.1
		1.53	$1.09\,E-2$	0.1
$DZ\ (m)$	A	1.07	$-1.05\,E-3$	0.1
		1.16	$-2.40\,E-3$	0.1
		1.34	$-5.10\,E-3$	0.1
		1.53	$-7.95\,E-3$	0.1

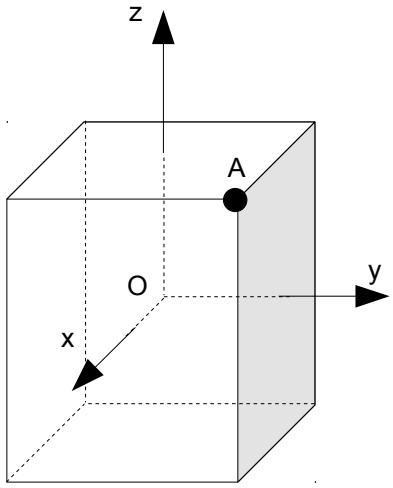
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Modélisation D

6.1 Caractéristiques de la modélisation D

Modélisation 3D.

Modèle de DRUCK_PRAGER à écrouissage négatif parabolique



Nombre de nœuds 20
Nombre de mailles 7 Soit :

QUAD8	6
HEXA20	1

Géométrie du cube (m) :

Centre $O(0.,0.,0.)$
Côté $C=1\,m$

Groupes de mailles :

BAS :	surface du cube appartenant au plan	$Z=-0.5$
$HAUT$:	surface du cube appartenant au plan	$Z=+0.5$
$DROITE$:	surface du cube appartenant au plan	$Y=+0.5$
$GAUCHE$:	surface du cube appartenant au plan	$Y=-0.5$
$DERRIERE$:	surface du cube appartenant au plan	$X=-0.5$
$DEVANT$:	surface du cube appartenant au plan	$X=+0.5$

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

6.2 Grandeurs testées et résultats

Grandeur	Point	*Inst*	Référence	Tolérance (%)
$SIXX\ (Pa)$	A	2.0	$-2.0\,E6$	0.1
$SIZZ\,(Pa)$	A	1.07	$-8.09\,E6$	0.1
		1.16	$-8.01\,E6$	0.1
		1.34	$-6.63\,E6$	0.1
		1.53	$-5.81\,E6$	0.1
$V1$	A	1.07	0	0.1
		1.16	$2.04\,E-3$	0.1
		1.34	$6.42\,E-3$	0.1
		1.53	$1.09\,E-2$	0.1
$DZ\ (m)$	A	1.07	$-1.05\,E-3$	0.1
		1.16	$-2.40\,E-3$	0.1
		1.34	$-5.10\,E-3$	0.1
		1.53	$-7.95\,E-3$	0.1

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

7 Synthèse des résultats

La loi de comportement de type DRUCK_PRAGER avec un écrouissage négatif linéaire et avec un écrouissage négatif parabolique donne des résultats satisfaisants avec les modélisations AXIS et 3D.

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