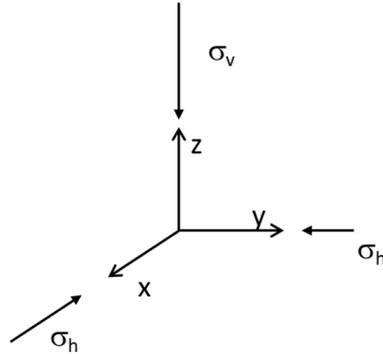


Stabilité des puits – Memo

Jean Sulem

Contraintes principales à la paroi d'un puits vertical – Etat des contraintes horizontales en place isotrope



Paroi imperméable

Dans le cas d'une paroi imperméable, la pression de fluide dans le massif est constante et égale à la pression de pore en place p_{f0} :

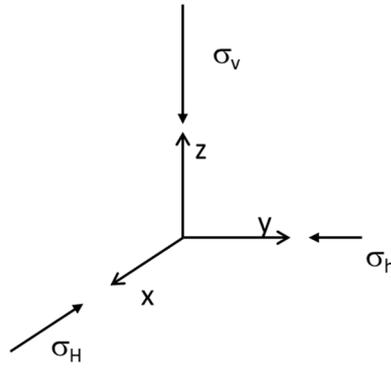
$$\begin{aligned} p_f &= p_{f0} \\ \sigma_r &= p_w \\ \sigma_\theta &= 2\sigma_h - p_w \\ \sigma_z &= \sigma_v \end{aligned} \quad (1)$$

Paroi perméable

Dans le cas d'une paroi perméable :

$$\begin{aligned} p_f|_{r=R} &= p_w \\ \sigma_r &= p_w \\ \sigma_\theta &= 2\sigma_h - p_w - 2\eta(p_{f0} - p_w) \\ \sigma_z &= \sigma_v - 2\eta(p_{f0} - p_w) \\ \text{avec } \eta &= \frac{G}{\lambda + 2G}b = \frac{1 - 2\nu}{2(1 - \nu)}b \end{aligned} \quad (2)$$

Contraintes principales à la paroi d'un puits vertical dans le cas d'une paroi imperméable – Etat des contraintes en place anisotrope



La contrainte principale horizontale majeure est parallèle à l'axe Ox et la contrainte principale horizontale mineure est parallèle à l'axe Oy.

Dans le cas d'une paroi imperméable, la pression de fluide dans le massif est constante et égale à p_f

La pression de boue imposée à la paroi est notée p_w . Les contraintes principales totales à la paroi sont données par

$$\begin{aligned}
 \sigma_r &= p_w \\
 \sigma_\theta &= \sigma_H + \sigma_h - 2(\sigma_H - \sigma_h) \cos 2\theta - p_w \\
 \sigma_z &= \sigma_v - 2\nu(\sigma_H - \sigma_h) \cos 2\theta \\
 \tau_{r\theta} &= \tau_{rz} = \tau_{\theta z} = 0
 \end{aligned} \tag{3}$$

Critères de rupture

Rupture en cisaillement

Le critère de rupture de Mohr-Coulomb s'écrit en contraintes effectives de Terzaghi

$$\begin{aligned}
 \sigma'_1 &= \sigma_c + K_p \sigma'_3 \\
 \sigma'_1 &= \sigma_1 - p_f, \text{ contrainte principale majeure} \\
 \sigma'_3 &= \sigma_3 - p_f, \text{ contrainte principale mineure} \\
 \sigma_c &= 2C \frac{\cos \phi}{1 - \sin \phi} = 2C \tan \beta, \text{ résistance en compression simple}
 \end{aligned} \tag{4}$$

ϕ , angle de frottement

C , cohésion

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$$

Rupture en traction

$$\begin{aligned}
 \sigma'_3 &= -\sigma_T \\
 \sigma'_3 &= \sigma_3 - p_f, \text{ contrainte principale mineure} \\
 \sigma_T &, \text{ résistance en traction}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Conditions de stabilité d'un puits vertical

Etat de contraintes horizontales en place isotrope – paroi imperméable

Pour éviter une rupture en cisaillement

$$\text{Si } \sigma_r < \sigma_z < \sigma_\theta, \sigma_1 = \sigma_\theta \text{ et } \sigma_3 = \sigma_r$$

$$\sigma'_1 - (\sigma_c + K_p \sigma'_3) < 0 \Rightarrow p_w > p_{w,\min} = p_f + \frac{2(\sigma_h - p_f) - \sigma_c}{1 + \tan^2 \beta} \quad (6)$$

$$\text{Si } \sigma_r < \sigma_\theta < \sigma_z, \sigma_1 = \sigma_z \text{ et } \sigma_3 = \sigma_r$$

$$\sigma'_1 - (\sigma_c + K_p \sigma'_3) < 0 \Rightarrow p_w > p_{w,\min} = p_f + \frac{\sigma_v - p_f - \sigma_c}{\tan^2 \beta}$$

Pour éviter une rupture en traction (fracturation verticale)

$$\sigma'_\theta > -\sigma_T \Rightarrow p_w < p_{w,\max}^{\text{frac}} = 2\sigma_h - p_f + \sigma_T \quad (7)$$

Etat de contraintes horizontales en place isotrope – paroi perméable

Pour éviter une rupture en cisaillement

$$\text{Si } \sigma_r < \sigma_z < \sigma_\theta, \sigma_1 = \sigma_\theta \text{ et } \sigma_3 = \sigma_r$$

$$\sigma'_1 - (\sigma_c + K_p \sigma'_3) < 0 \Rightarrow p_w > p_{w,\min} = \frac{2\sigma_h - 2\eta p_{f0} - \sigma_c}{2 - 2\eta} \quad (8)$$

$$\text{Si } \sigma_r < \sigma_\theta < \sigma_z, \sigma_1 = \sigma_z \text{ et } \sigma_3 = \sigma_r$$

$$\sigma'_1 - (\sigma_c + K_p \sigma'_3) < 0 \Rightarrow p_w > p_{w,\min} = \frac{\sigma_v - 2\eta p_{f0} - \sigma_c}{1 - 2\eta}$$

Pour éviter une rupture en traction

$$\text{Fracturation verticale : } \sigma'_\theta > -\sigma_T \Rightarrow p_w < p_{w,\max}^{\text{frac}} = \frac{2\sigma_h - 2\eta p_{f0} + \sigma_T}{2 - 2\eta} \quad (9)$$

$$\text{Fracturation horizontale : } \sigma'_z > -\sigma_T \Rightarrow p_w < p_{w,\max}^{\text{frac}} = \frac{\sigma_v - 2\eta p_{f0} + \sigma_T}{1 - 2\eta}$$

Etat de contraintes horizontales en place anisotrope – paroi imperméable

Pour éviter une rupture en cisaillement

$$\text{Si } \sigma_r < \sigma_z < \sigma_\theta, \sigma_1 = \sigma_\theta \text{ et } \sigma_3 = \sigma_r$$

$$\sigma'_1 - (\sigma_c + K_p \sigma'_3) < 0 \Rightarrow p_w > p_{w,\min} = p_f + \frac{3\sigma_H - \sigma_h - 2p_f - \sigma_c}{1 + \tan^2 \beta} \quad (10)$$

$$\text{Si } \sigma_r < \sigma_\theta < \sigma_z, \sigma_1 = \sigma_z \text{ et } \sigma_3 = \sigma_r$$

$$\sigma'_1 - (\sigma_c + K_p \sigma'_3) < 0 \Rightarrow p_w > p_{w,\min} = p_f + \frac{\sigma_v + 2\nu(\sigma_H - \sigma_h) - p_f - \sigma_c}{\tan^2 \beta}$$

La rupture en cisaillement est initiée à la paroi dans la direction de la contrainte principale mineure (axe Oy)

Pour éviter une rupture en traction (fracturation verticale)

$$\sigma'_\theta > -\sigma_T \Rightarrow p_w < p_{w,\max}^{\text{frac}} = 3\sigma_h - \sigma_H - p_f + \sigma_T \quad (11)$$

σ_T est la résistance en traction de la roche

La rupture en traction est initiée à la paroi dans la direction de la contrainte principale majeure (axe Ox)

Fourchette de pressions de boue acceptables (mud window)

$$p_{w,\min} < p_w < p_{w,\max}^{\text{frac}} \quad (12)$$