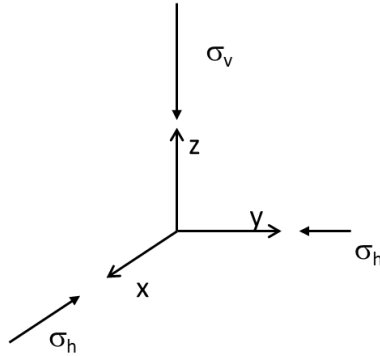


## Stabilité des puits – Memo

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  $p_{f0}$  :

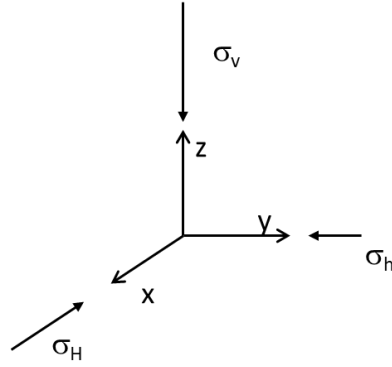
$$\begin{aligned} p_f &= p_{f0} \\ \sigma_r &= p_b \\ \sigma_\theta &= 2\sigma_h - p_b \\ \sigma_z &= \sigma_v \end{aligned} \tag{1}$$

#### *Paroi perméable*

Dans le cas d'une paroi perméable :

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

### 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

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

## Critères de rupture

### Rupture en cisaillement

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

$$\begin{aligned}
 \sigma'_1 &= C_0 + K_p \sigma'_3 \\
 \sigma'_1 &= \sigma_1 - p_f, \text{ contrainte principale majeure} \\
 \sigma'_3 &= \sigma_3 - p_f, \text{ contrainte principale mineure} \\
 \sigma_c &= 2C \frac{\cos \phi}{1 - \sin \phi} = 2C \tan \beta, \text{ résistance en compression simple} \\
 \phi, &\text{ angle de frottement} \\
 C, &\text{ cohésion} \\
 K_p &= \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \beta
 \end{aligned} \tag{4}$$

### 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*

$$\begin{aligned} \text{Si } \sigma_r < \sigma_z < \sigma_\theta, \sigma_1 = \sigma_\theta \text{ et } \sigma_3 = \sigma_r \\ \sigma'_1 - (\sigma_c + K_p \sigma'_3) < 0 \Rightarrow p_b > p_{b,\min} = p_f + \frac{2(\sigma_h - p_f) - \sigma_c}{1 + K_p} \\ \text{Si } \sigma_r < \sigma_\theta < \sigma_z, \sigma_1 = \sigma_z \text{ et } \sigma_3 = \sigma_r \\ \sigma'_1 - (\sigma_c + K_p \sigma'_3) < 0 \Rightarrow p_b > p_{b,\min} = p_f + \frac{\sigma_v - p_f - \sigma_c}{K_p} \end{aligned} \quad (6)$$

*Pour éviter une rupture en traction (fracturation verticale)*

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

### *Etat de contraintes horizontales en place isotrope – paroi perméable*

*Pour éviter une rupture en cisaillement*

$$\begin{aligned} \text{Si } \sigma_r < \sigma_z < \sigma_\theta, \sigma_1 = \sigma_\theta \text{ et } \sigma_3 = \sigma_r \\ \sigma'_1 - (\sigma_c + K_p \sigma'_3) < 0 \Rightarrow p_b > p_{b,\min} = \frac{2\sigma_h - 2\eta p_{f0} - \sigma_b}{2 - 2\eta} \\ \text{Si } \sigma_r < \sigma_\theta < \sigma_z, \sigma_1 = \sigma_z \text{ et } \sigma_3 = \sigma_r \\ \sigma'_1 - (\sigma_c + K_p \sigma'_3) < 0 \Rightarrow p_b > p_{b,\min} = \frac{\sigma_v - 2\eta p_{f0} - \sigma_b}{1 - 2\eta} \end{aligned} \quad (8)$$

*Pour éviter une rupture en traction*

$$\begin{aligned} \text{Fracturation verticale : } \sigma'_\theta > -\sigma_T \Rightarrow p_b < p_{b,\max}^{\text{frac}} = \frac{2\sigma_h - 2\eta p_{f0} + \sigma_T}{2 - 2\eta} \\ \text{Fracturation horizontale : } \sigma'_z > -\sigma_T \Rightarrow p_b < p_{b,\max}^{\text{frac}} = \frac{\sigma_v - 2\eta p_{f0} + \sigma_T}{1 - 2\eta} \end{aligned} \quad (9)$$

### *Etat de contraintes horizontales en place anisotrope – paroi imperméable*

*Pour éviter une rupture en cisaillement*

$$\begin{aligned} \text{Si } \sigma_r < \sigma_z < \sigma_\theta, \sigma_1 = \sigma_\theta \text{ et } \sigma_3 = \sigma_r \\ \sigma'_1 - (\sigma_c + K_p \sigma'_3) < 0 \Rightarrow p_b > p_{b,\min} = p_f + \frac{3\sigma_H - \sigma_h - 2p_f - \sigma_c}{1 + K_p} \\ \text{Si } \sigma_r < \sigma_\theta < \sigma_z, \sigma_1 = \sigma_z \text{ et } \sigma_3 = \sigma_r \\ \sigma'_1 - (\sigma_c + K_p \sigma'_3) < 0 \Rightarrow p_b > p_{b,\min} = p_f + \frac{\sigma_v + 2v(\sigma_H - \sigma_h) - p_f - \sigma_c}{K_p} \end{aligned} \quad (10)$$

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)*

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

$\sigma_T$  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)**

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