

### **TD3 : Méthode convergence-confinement appliquée à la construction des tunnels**

**Exercice :** On étudie le problème de du maintien en cours de construction puis pendant l'exploitation d'un tunnel routier de diamètre à l'excavation égale à 12 m construit dans un sol sableux dont les propriétés au laboratoire ont été identifiées comme suivant : angle de frottement  $25^\circ$ ,  $c = 120 \text{ kPa}$ ,  $E = 900 \text{ MPa}$   $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ . Le creusement du tunnel se fait dans une profondeur de 80m (en moyenne).

1 - Calculer la courbe de déconfinement du terrain (partie élastique et plastique)

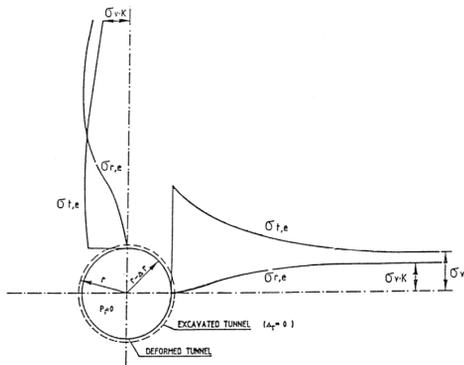
2- Calculer le taux de confinement critique pour lequel un massif reste élastique

3 - On a choisi préalablement un soutènement en béton projeté d'une épaisseur  $e = 12 \text{ cm}$ . Vérifier si un tel soutènement pourrait être envisageable pour assurer le maintien à l'état élastique du massif. Quelle serait dans ce cas la distance (mesurée à partir du front de taille) à partir de laquelle on doit poser le soutènement/revêtement pour que le massif reste élastique.

4 - Que se passe t-il si on commençait la pose du soutènement au moment où le front de taille est dans une distance  $X = 1.2 X_c$  où  $X_c$  est la distance calculée dans la question précédente. Calculer pour ce cas les charges sur le soutènement

# Notes de cours et résumé des formules pour la méthode Convergence Confinement

The convergence confinement method (CCM) is a tool for the design of underground excavations and is used to estimate the ground behaviour and system behavior. Typical application of the convergence confinement method are deep tunnels and tunnels with ground behaviour types where displacements play a major role. Schematic illustration of the radial and tangential stress around the circular excavation with an elastic material behaviour



Stress distribution around the circular excavation

$\sigma_{t(r),ST} = p_0 \left[ \frac{1+k_0}{2} \left( 1 + \frac{r_0^2}{r^2} \right) + \frac{1-k_0}{2} \left( 1 + 3 \frac{r_0^4}{r^4} \right) \right]$	Pied droit
$\sigma_{r(r),ST} = p_0 \left[ \frac{1+k_0}{2} \left( 1 - \frac{r_0^2}{r^2} \right) - \frac{1-k_0}{2} \left( 1 + 3 \frac{r_0^4}{r^4} - 4 \frac{r_0^2}{r^2} \right) \right]$	
$\sigma_{t(r),F} = p_0 \left[ \frac{1+k_0}{2} \left( 1 + \frac{r_0^2}{r^2} \right) - \frac{1-k_0}{2} \left( 1 + 3 \frac{r_0^4}{r^4} \right) \right]$	Voûte
$\sigma_{r(r),F} = p_0 \left[ \frac{1+k_0}{2} \left( 1 - \frac{r_0^2}{r^2} \right) + \frac{1-k_0}{2} \left( 1 + 3 \frac{r_0^4}{r^4} - 4 \frac{r_0^2}{r^2} \right) \right]$	

$p_0$	... primary stress [MPa]
$k_0$	... side pressure coefficient [-]
$\sigma_{t(r),ST}$	... tangential stress side-wall [MPa]
$\sigma_{r(r),ST}$	... radial stress side-wall [MPa]
$\sigma_{t(r),F}$	... radial stress side-wall [MPa]
$\sigma_{r(r),F}$	... radial stress side-wall [MPa]
$r_0$	... excavation radius [m]
$r$	... distance to tunnel axis, running variable [m]

Tangential and radial stress at the excavation edge for

- $k_0 = 1$
- $p_i \neq 0$  (Support pressure)

$$\sigma_{t(r)} = p_0 + (p_0 - p_i) \cdot \left(\frac{r_0}{r}\right)^2$$

$$\sigma_{r(r)} = p_0 - (p_0 - p_i) \cdot \left(\frac{r_0}{r}\right)^2$$

Displacement distribution

- Equations

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r}; \varepsilon_\theta = \frac{u}{r}; \varepsilon_z = 0 \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad u_{r(r)} = (p_0 - p_i) \frac{r_0}{2G} \left(\frac{r_0}{r}\right)$$

## Plastic Material Behaviour - Stress distribution

Stress distribution around a circled excavation with  $k_0=1$  and linear elastic – ideal plastic material behaviour

Elastic Zone

$$\sigma_t = p_0 + (p_0 - p_i^{cr}) \cdot \left(\frac{r_p}{r}\right)^2$$

$$\sigma_r = p_0 - (p_0 - p_i^{cr}) \cdot \left(\frac{r_p}{r}\right)^2$$

Plastic Zone

$$\sigma_t = -\frac{\sigma_{UCS}}{k-1} + k \cdot \left(p_i + \frac{\sigma_{UCS}}{k-1}\right) \cdot \left(\frac{r}{r_0}\right)^{k-1}$$

$$\sigma_r = -\frac{\sigma_{UCS}}{k-1} + \left(p_i + \frac{\sigma_{UCS}}{k-1}\right) \cdot \left(\frac{r}{r_0}\right)^{k-1}$$

Further parameters

$$\sigma_{UCS} = \frac{2 \cdot c \cdot \cos(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)}$$

$$k = \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) = \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)}$$

$\sigma_t$  ... tangential stress [MPa]  
 $\sigma_r$  ... radial stress [MPa]  
 $p_0$  ... primary stress [MPa]  
 $p_i^{cr}$  ... critical support pressure [MPa]  
 $p_i$  ... support pressure [MPa]  
 $r_p$  ... plastic radius [m]

$r$  ... distance to tunnel axis, running variable [m]  
 $k$  ... passive side pressure coefficient [-]  
 $\sigma_{UCS}$  ... uniaxial compressive strength [MPa]  
 $r$  ... excavation radius [m]  
 $c$  ... cohesion [MN/m<sup>2</sup>]  
 $\varphi$  ... angle of friction [°]

The critical support pressure is the radial stress between the plastic and the elastic zone. If the existing support pressure is less than the critical support pressure, a plastic zone occurs.

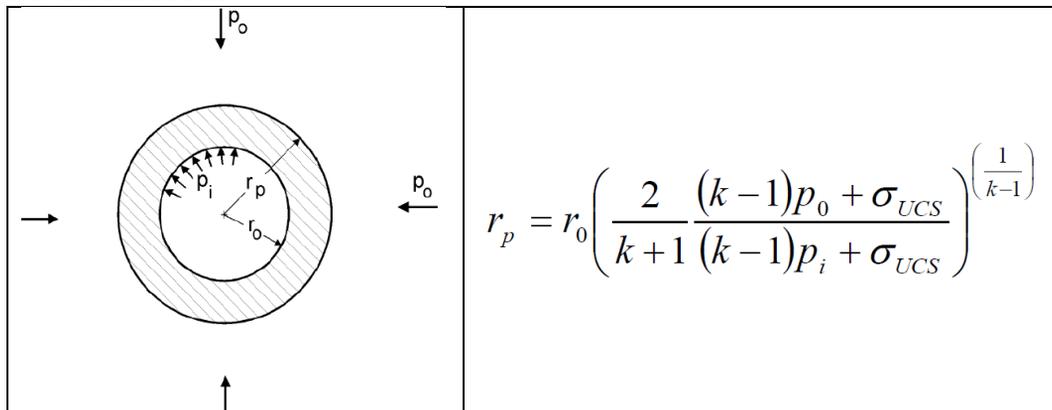
Limiting conditions

$$2p_0 \geq (k+1)p_i + \sigma_{UCS}$$

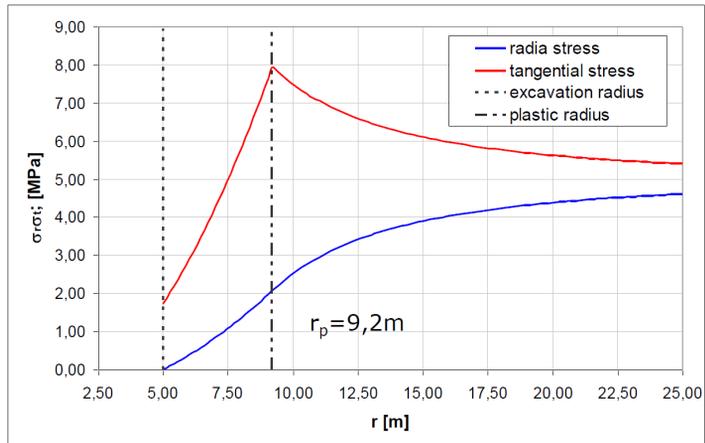
Critical support pressure

$$p_i^{cr} = \frac{2 \cdot p_0 - \sigma_{UCS}}{1+k}$$

With the previously established equations the plastic radius can be calculated:



$r_0$	5,00	[m]
$t$	200,00	[m]
$\gamma$	25,00	[kN/m <sup>3</sup> ]
$p_0$	5,00	[MPa]
$p_i$	0,00	[MPa]
$\Phi$	30,00	[°]
$c$	0,50	[MPa]
$\sigma_{UCS}$	1,73	[MPa]
$k$	3,00	[-]
$E$	1500,00	[MPa]
$\nu$	0,35	[-]
$G$	555,56	[MPa]



calculation procedure for the displacements distribution:

Limiting conditions

$$2p_0 \geq (k+1)p_i + \sigma_{UCS}$$

Elastic zone

$$u_r = (p_0 - p_i^{cr}) \frac{r_p}{2G} \left( \frac{r_p}{r} \right)$$

Plastic Zone (Sulem)

$$u_r = r \frac{1}{(k+1)} \left( k - 1 + \frac{\sigma_{UCS}}{p_0} \right) \frac{1}{2G} \left( \frac{r_p}{r} \right)^2 p_0$$

