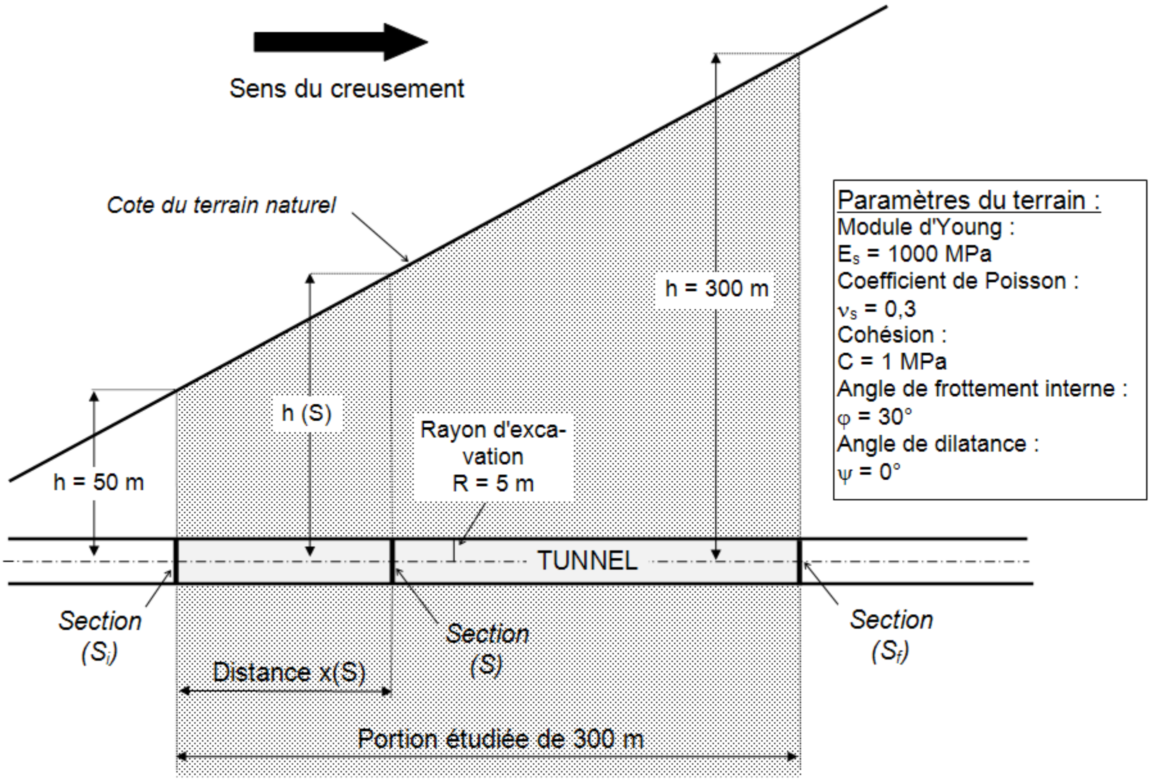
Influence de la hauteur de couverture sur le dimensionnement du soutènement.
Corrigé



On se place dans le cas d'une portion de tunnel routier à projeter de longueur 300m pour laquelle la hauteur de couverture h varie selon le schéma indiqué ci-dessus. On désire dimensionner le soutènement lors du creusement du tunnel. L'excavation est supposée circulaire de rayon R égal à 5 mètres et creusé dans le sens d'une augmentation de la hauteur de couverture. Le terrain est homogène dans la portion considérée et possède un comportement élastoplastique parfait dont les paramètres sont donnés sur la Figure. On supposera que la méthode convergence-confinement est valable et la pression initiale σ_0 est calculée de la façon suivante pour chaque section :

$\sigma_0 = \gamma h$

avec :

γ : poids volumique du terrain pris égal à 0,025 MN/m3 ;

h : hauteur de couverture de la section considérée ; la valeur de h sera prise égale à la distance entre la côte du terrain naturel au droit de la section et le centre de l'excavation.

Dimensionnement de la section de hauteur de couverture minimale (Si)

On s'intéresse dans cette partie à la section (Si) (voir Figure) de la portion dont la hauteur de couverture est minimale. On cherche à dimensionner l'épaisseur de soutènement à mettre en oeuvre.

1. Calculer la pression initiale σ_0 du terrain avant creusement pour la section (Si). Y a-t-il apparition de la plasticité dans le terrain pour la section (Si) ?

$$\sigma_0 = \gamma h = 1.25 \text{ MPa}$$

$$K_p = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} = 3;\ \sigma_c = \frac{2C\cos\phi}{1-\sin\phi} = 3.46 \text{ MPa};\ \beta=1$$

$$\sigma_0 < \frac{\sigma_c}{2}, \text{ le terrain reste élastique}$$

2. Quelle est la valeur finale du déplacement de la paroi au cas où aucun soutènement n'est mis en place ?

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 384.6\ \text{MPa}$$

$$u = \frac{\sigma_0}{2G} R = 8.125 \times 10^{-3}\,\text{m}$$

3. Tracer la courbe de convergence du massif pour la section (Si).
4. On décide de mettre en oeuvre en (Si) un soutènement à base de béton projeté dont les caractéristiques sont les suivantes :

– Module d'Young E_b = 10 000 MPa
– Coefficient de Poisson ν_b = 0,2
– Contrainte maximale de compression admissible σ_{bmax} = 20 MPa

L'épaisseur choisie (e) est de 20 centimètres et la distance de pose (d) du soutènement par rapport au front de taille est de 1,5m.

Le taux de décompression des terrains λ en fonction de la distance au front x est donné par la formule suivante :

$$\lambda(x) = \lambda_0 + (1-\lambda_0)\left(1 - \left(\frac{mR}{mR+x}\right)^2\right) \quad \text{avec } \lambda_0 = 0.25, \quad m = 0.75 \ \text{(R est le rayon de la galerie)}$$

(a) Calculer le taux de déconfinement λ_p à la pose du soutènement. Calculer la pression fictive P_{id} à la pose du soutènement.

$$\lambda_d = 0.617$$

(b) Quel est le déplacement u_d du terrain à la pose du soutènement ?

$$u_d = \lambda_d \frac{\sigma_0}{2G} R = 5 \times 10^{-3}\,\text{m}$$

(c) Tracer la courbe de confinement.

$$K_s = \frac{E_b}{1-\nu_b^2}\frac{e}{R} = 416.7\ \text{MPa}$$

5. On recherche les valeurs atteintes à l'équilibre :

(a) Quelle est la valeur du déplacement de la paroi à l'équilibre ? $u_\infty = \dfrac{R\sigma_0 + K_s u_d}{K_s + 2G} = 7 \times 10^{-3}\,\text{m}$

(b) Quelle est la valeur du taux de déconfinement à l'équilibre ?

$$p_s = \frac{K_s \sigma_0 (1-\lambda_d)}{K_s + 2G} = 0.17\ \text{MPa}$$

(d) Quel pourcentage de la contrainte maximale admissible σ_s a-t-on mobilisé à l'équilibre ?

$$\sigma_s = 20\ \text{MPa; pression limite admissible} = \frac{e}{R}\sigma_s = 0.8\ \text{MPa}$$

$$p_s < \frac{e}{R}\sigma_s$$

Seulement 21% de la contrainte maximale admissible dans le revêtement est mobilisé

(e) Conclusions sur l'épaisseur de soutènement choisie pour la section (Si).

Soutènement stable et largement surdimensionné.

Dimensionnement du soutènement lorsque la hauteur h varie

On s'intéresse dans cette partie à l'effet de la variation de hauteur h sur le dimensionnement du soutènement.

1. A partir de quelle distance (x) du début de la portion étudiée (voir Figure) y aura-t-il apparition de la plasticité dans le terrain ?

$$\lambda_e = \frac{1}{K_p+1}\left(K_p - 1 + \frac{\sigma_c}{\sigma^0(x)}\right)$$

2. Le dimensionnement est réalisé en étudiant dans cette question la section (S_f) de hauteur h égale à 300m (voir Figure).

(a) Montrer que la pression initiale σ_0 du terrain est de 7,5 MPa. Calculer la pression d'apparition de la plasticité à la paroi dans le cas où la section étudiée est (S_f).

$$\lambda_e = \frac{1}{K_p + 1}\left(K_p - 1 + \frac{\sigma_c}{\sigma^0(x)}\right) = 0.615$$

$$(1-\lambda_e)\sigma_0 = 2.89 \text{ MPa}$$

(b) Tracer la courbe de convergence du terrain dans le cas où la section étudiée est (S_f).
(c) On propose de mettre en oeuvre un béton projeté dont les caractéristiques sont identiques à la question 2 de la partie précédente. On suppose que la distance de pose (d) est de 1,50m. On garde la même épaisseur e de soutènement égale à 20cm. Déterminer graphiquement le déplacement de la paroi à la pose à partir de la courbe de convergence.

$$\sigma_0 = 7.5 \text{ MPa}$$

$$u_d = \lambda_d \frac{\sigma_0}{2G} R = 3\times 10^{-2}\,\text{m}$$

$$p_s = K_s \frac{u - u_d}{R}$$

$$\frac{u}{R} = \frac{\lambda_e \sigma^0}{2(\beta+1)G}\left[2\left(\frac{R_p}{R}\right)^{\beta+1} + \beta - 1\right]$$

$$\frac{R_p}{R} = \left[\frac{2}{K_p+1}\frac{(K_p-1)\sigma^0 + \sigma_c}{(1-\lambda)(K_p-1)\sigma^0 + \sigma_c}\right]^{\frac{1}{K_p-1}}$$

Tracer la courbe de confinement correspondante. Conclusion sur l'épaisseur de soutènement choisie pour la section (S_f).

A l'équilibre, $p_{s\infty} = 1.3$ MPa; $u_\infty = 4.57\times 10^{-2}\,\text{m}$. Le soutènement est instable.

3. Quelle épaisseur minimale doit avoir le soutènement pour assurer sa stabilité ?

Soit e l'épaisseur minimale recherchée. Elle est telle que la contrainte normale dans la coque de béton atteint la résistance en compression simple σ_s.

Les équations du problème sont les suivantes :

$$p_s = \frac{e}{R}\sigma_s$$

$$p_s = K_s \frac{u - u_d}{R} \quad \text{avec } K_s = \frac{E_b}{1-\nu_b^2}\frac{e}{R}$$

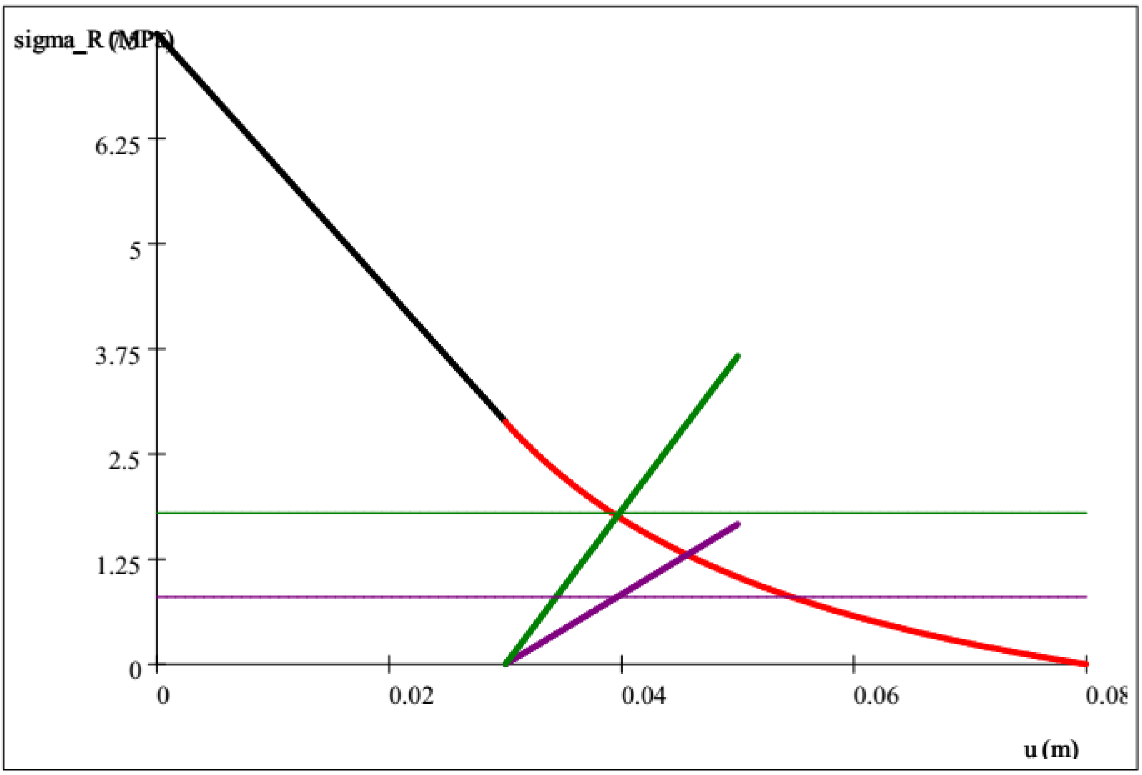
$$\frac{u}{R} = \frac{\lambda_e \sigma^0}{2(\beta+1)G}\left[2\left(\frac{R_p}{R}\right)^{\beta+1} + \beta - 1\right]$$

$$\frac{R_p}{R} = \left[\frac{2}{K_p+1}\frac{(K_p-1)\sigma^0 + \sigma_c}{(K_p-1)p_s + \sigma_c}\right]^{\frac{1}{K_p-1}}$$

En combinant ces équations, on obtient une équation pour l'épaisseur e

$$\sigma_s = \frac{E_b}{1-\nu_b^2}\left(\frac{\lambda_e\sigma^0}{2(\beta+1)G}\left[2\left(\frac{2}{K_p+1}\frac{(K_p-1)\sigma^0+\sigma_c}{(K_p-1)\frac{e}{R}\sigma_s+\sigma_c}\right)^{\frac{\beta+1}{K_p-1}} + \beta - 1\right] - \frac{u_d}{R}\right)$$

On obtient une épaisseur minimale de 44 cm qui correspond à une pression de 1,76 MPa appliquée sur le revêtement.


sigma_R (MPa)
6.25
5
3.75
2.5
1.25
0
0
0.02
0.04
0.06
0.08
u (m)