

Exercice 11

Paroi simplement fichée

16 mai 2020

1 Configuration simple - dimensionnement

Tout d'abord, on dimensionnera la fiche de la paroi pour une excavation dans un sol purement frottant homogène - géométrie et propriétés de la Fig. 1. La nappe est en profondeur et ne joue pas ici (simplification - sinon le dimensionnement est itératif). On fera l'hypothèse que les états de poussée et de butée sont complètement mobilisés et que la paroi est lisse.

Déterminer la longueur totale de l'écran assurant l'équilibre de la paroi. Calculer le moment fléchissant maximum.

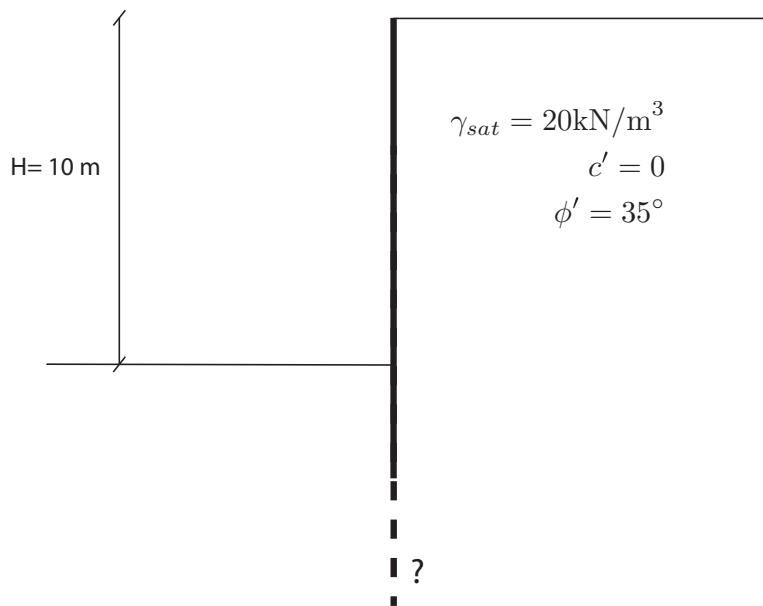


FIGURE 1: Géométrie d'une excavation dans un sol homogène. .

2 Calculs des actions - configuration réelle

On considère maintenant l'excavation et la paroi de soutènement dont la géométrie, les charges additionnelles et le profil géotechnique sont donnés sur la figure 2. Le but de cet exercice est de déterminer la résultante horizontale

des actions le long de la paroi. La paroi a une longueur totale de 17 mètres. On fera l'hypothèse que les états de poussée et de butée sont complètement mobilisés.

La paroi sera supposée rugueuse. Le profil géotechnique consiste en 2 sols de propriétés différentes. On notera que la nappe phréatique ne coïncide pas avec la surface. On fera l'hypothèse d'une perte de charge uniquement du côté de la fouille.

L'effet d'un bâtiment mitoyen est modélisé par une charge linéaire q de 30 kN/m^2 située à une distance de 2 m de la paroi et agissant sur une longueur de 2 m. Cette surcharge a pour effet d'augmenter la pression contre la paroi d'une valeur moyenne p . On utilisera la formule de Grau pour estimer cette surcharge. Elle intervient donc dans le calcul de la contrainte horizontale s'exerçant sur la paroi.

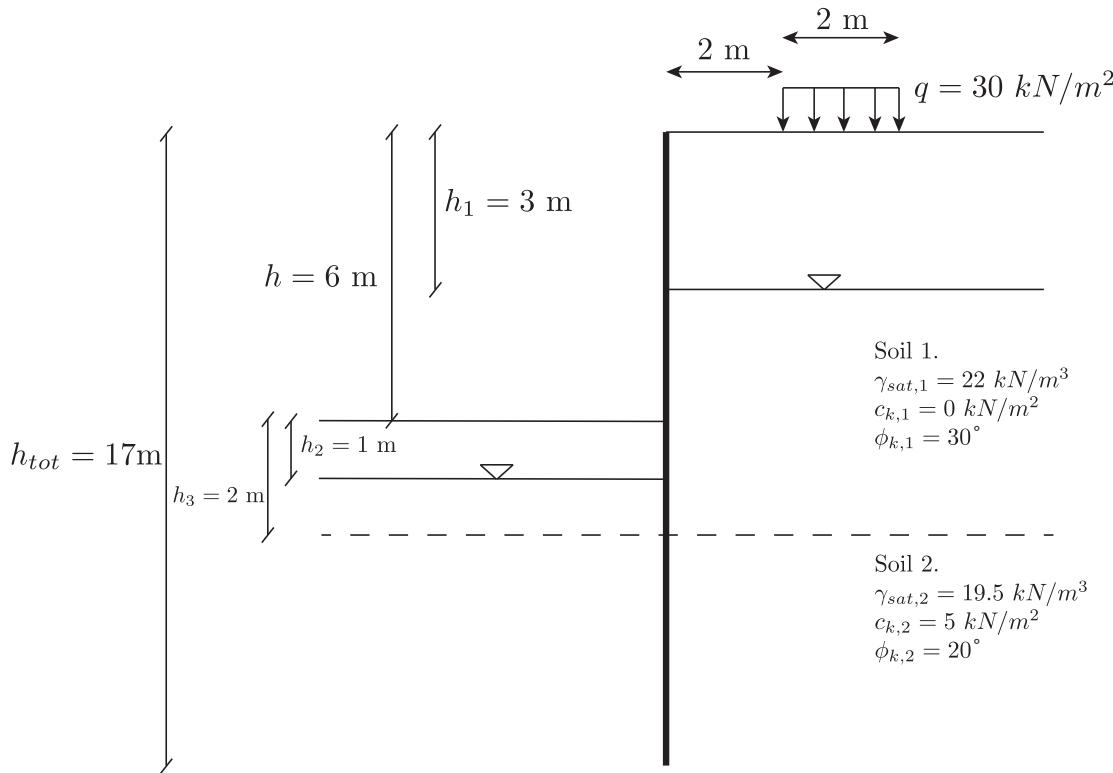


FIGURE 2: Géométrie d'une petite excavation dans un sol bi-couche. .

Correction Exercice 11

Paroi simplement fichée

1 Configuration simple - dimensionnement

Une paroi simplement fichée est une paroi autostable sans tirant ni buton. Sa stabilité est assurée par le sol uniquement, avec un coin en butée et un encastrement en pied. La seule vraie inconnue du problème est la fiche, à savoir la longueur de la paroi sous le fond de fouille.

Hypothèses :

- Le déplacement de la paroi de soutènement est suffisant pour atteindre les états limites actif et passif dans le sol de part et d'autre de la paroi.
- Il n'y a pas de perte de charge hydraulique le long la paroi.

Démarche côté actif (côté non-excavé)

Coefficient de poussée active en considérant une paroi lisse et un déplacement suffisant. L'évaluation peut être faite en utilisant les formules de Coulomb (coin de Coulomb - approche cinématique) :

$$K_a = \left(\frac{\cos(\phi)}{1 + \sqrt{\sin(\phi-\beta) \frac{\sin(\phi+\delta)}{\cos(\beta)\cos(\delta)}}} \right)^2 \frac{1}{\cos(\delta)} = 0.27 \quad \text{avec } \phi = 35^\circ, \beta = 0 \text{ et } \delta = 0$$

Démarche côté passif Coefficient de poussée passive en considérant une paroi lisse et un déplacement suffisant. L'évaluation peut être faite en utilisant les tables de Caquot- Kerisel (c.f. transparents semaine 8). On a des coefficients différents pour les deux types de sols :

$$K_p = 3.8$$

1. Détermination de la profondeur du point de pression nulle O

Le point de pression nulle O est défini comme le point de la paroi où s'annule la valeur de calcul de la résultante des poussées active et passive ainsi que des pressions d'eau.

$$K_a \gamma_{sat} (H + z_o) = K_p \gamma_{sat} z_o \rightarrow z_o = \frac{K_a H}{(K_p - K_a)} = 0.77 \text{ m} \quad (1)$$

2. Détermination des efforts internes au point de pression nulle

$$\begin{aligned} V_o &= \frac{1}{2} K_a \gamma_{sat} H^2 + \frac{1}{2} k_a \gamma_{sat} H z_o = \frac{1}{2} K_a \gamma_{sat} H (H + z_o) = 291.8 \text{ kN/m} \\ M_o &= \frac{1}{2} K_a \gamma_{sat} H^2 \left(\frac{H}{3} + z_o \right) + \frac{1}{2} K_a \gamma_{sat} H z_o \frac{2}{3} z_o = 1122.04 \text{ kN m/m} \end{aligned} \quad (2)$$

3. Expression des efforts internes dans la paroi sous le point de pression nulle

$$\begin{aligned} V_x &= V_o - \frac{1}{2} (K_p - K_a) \gamma_{sat} x^2 \\ M_x &= M_o + V_o x - \frac{1}{6} \gamma_{sat} (K_p - K_a) x^3 \end{aligned} \quad (3)$$

4. Determination de la longueur de la paroi en exprimant l'équilibre de rotation

$$M_x (x = t) = 0 \rightarrow t = 6.32 \text{ m} \quad (4)$$

La somme des efforts tranchants s'exerçant sur la paroi au-dessus du point de rotation est :

$$V_x (x = t) = -1116.46 \text{ kN/m} \quad (5)$$

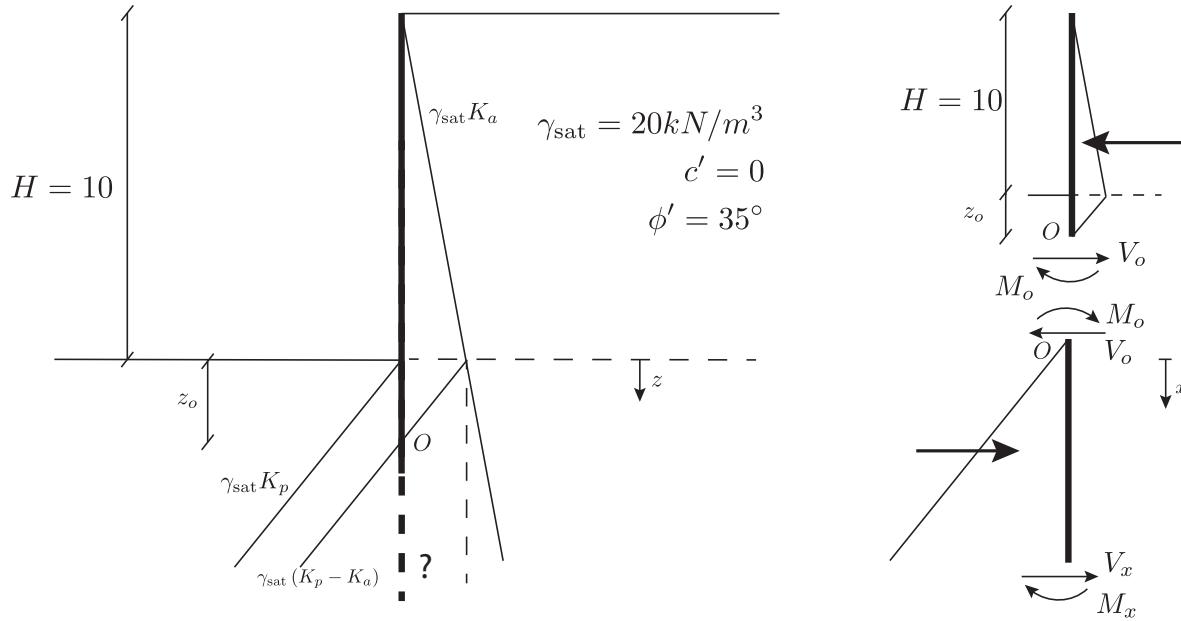


FIGURE 3: Actions et efforts le long de la paroi.

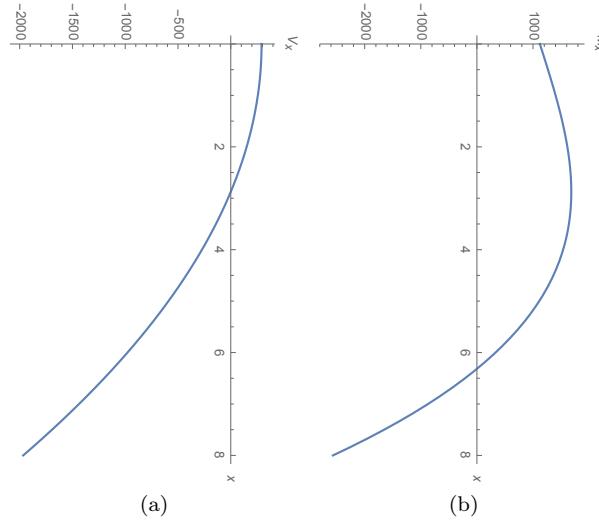


FIGURE 4: Effort tranchant (a) et moment fléchissant (b) profil.

L'équilibre horizontal n'est pas satisfait — Afin de satisfaire l'équilibre horizontal de la paroi, il faut dès lors compter sur une force de contre-butée CB agissant du côté amont de l'écran :

$$CB = -V_x(x = t) = 1116.46 \text{ kN/m} \quad (6)$$

Le sol n'étant pas en mesure de reprendre une force ponctuelle, cette contre-butée CB est répartie sur une hauteur b :

$$b = \frac{CB}{K_p \gamma_{sat} (H + z_o + t)} = 0.86 \text{ m} \quad (7)$$

Donc, la longueur de la paroi est :

$$L_{\text{paroi}} = H + z_o + t + \frac{b}{2} = 17.5 \text{ m} \quad (8)$$

5. Determination du moment fléchissant maximum

Le moment fléchissant est maximum où l'effort tranchant est nul :

$$V_x(x = x_m) = 0 \rightarrow x_m = \sqrt{\frac{2V_o}{(K_p - K_a)\gamma_{sat}}} = 2.88 \text{ m} \quad (9)$$

$$M_{max} = M_x(x = x_m) = 1681.43 \text{ kN m/m} \quad (10)$$

2 Calculs des actions - configuration réelle

Le but de cet exercice est de déterminer les actions le long de la paroi (sans ancrage).

Hypothèses :

- Le déplacement de la paroi de soutènement est suffisant pour atteindre les états limites actif et passif dans le sol de part et d'autre de la paroi.
- Perte de charge uniquement du côté de la fouille.

Démarche côté actif (côté non-excavé)

Coefficient de poussée active en considérant une paroi rugueuse et un déplacement suffisant. L'évaluation peut être faite en utilisant les formules de Coulomb (coin de Coulomb - approche cinématique).

On a des coefficients différents pour les deux types de sols :

$$K_{ah1} = \left(\frac{\cos(\phi_1)}{1 + \sqrt{\sin(\phi_1 - \beta) \frac{\sin(\phi_1 + \delta_1)}{\cos(\beta) \cos(\delta_1)}}} \right)^2 = 0.279 \quad \text{avec } \phi_1 = 30^\circ, \beta = 0 \text{ et } \delta_1 = \frac{2}{3} \cdot \phi_1 \quad \text{pour sol 1,}$$

$$K_{ah2} = \left(\frac{\cos(\phi_2)}{1 + \sqrt{\sin(\phi_2 - \beta) \frac{\sin(\phi_2 + \delta_2)}{\cos(\beta) \cos(\delta_2)}}} \right)^2 = 0.426 \quad \text{avec } \phi_2 = 20^\circ, \beta = 0 \text{ et } \delta_2 = \frac{2}{3} \cdot \phi_2 \quad \text{pour sol 2.}$$

Contrainte verticale totale :

$$\text{— sol 1 : } \sigma_v = \gamma_{sat,1} \cdot z \quad \text{avec : } \gamma_{sat,1} = 22 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{— sol 2 : } \sigma_v = \gamma_{sat,2} \cdot z \quad \text{avec : } \gamma_{sat,2} = 19.5 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Pression interstitielle : } u = \gamma_w \cdot z \quad \text{avec : } \gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Contrainte effective verticale : } \sigma'_v = \sigma_v - u$$

Contrainte effective horizontale :

$$\text{sol 1 : } \sigma'_{ha} = K_{ah1} \sigma'_v + (K_{ah1} - 1) c'_{k,1} (1/\tan(\phi_1)) \quad \text{avec } c'_{k,1} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{sol 2 : } \sigma'_{ha} = K_{ah2} \sigma'_v + (K_{ah2} - 1) c'_{k,2} (1/\tan(\phi_2)) \quad \text{avec } c'_{k,2} = 5 \text{ kN/m}^2$$

La contrainte horizontale résultant de la surcharge évaluée selon la formule de Grau :

$$p = \frac{qb \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)}{(a+b) \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) - a \tan(\phi)}$$

$$z_1 = a \tan(\phi)$$

$$z_2 = (a+b) \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right);$$

Avec $a = 2m$, $b = 2m$ et $q = 30kN/m^3$.

Pour le moment, on ne sait pas si la surcharge va avoir un effet sur la partie de la paroi dans le sol 2. On fait l'hypothèse que les contraintes horizontales du à la surcharge ne s'applique que sur la partie de la paroi dans le sol 1. On vérifiera après que c'est bien le cas dans les calculs suivants.

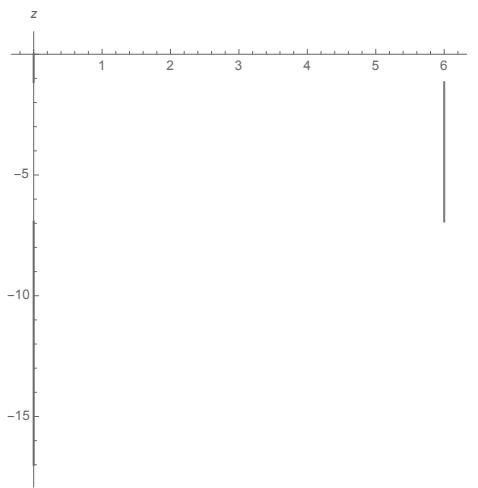


FIGURE 5: Contrainte horizontale résultant de la surcharge.

Démarche côté passif Coefficient de poussée passive en considérant une paroi rugueuse et un déplacement suffisant. L'évaluation peut être faite en utilisant les tables de Caquot- Kersel (c.f. transparents). On a des coefficients différents pour les deux types de sols :

$$\begin{aligned} K_{ph1} &= 4.5 && \text{pour sol 1,} \\ K_{ph2} &= 2.5 && \text{pour sol 2.} \end{aligned}$$

Contrainte verticale totale :

$$\text{sol 1 : } \sigma_v = \gamma_{sat,1} \cdot z \quad \text{avec : } \gamma_{sat,1} = 22kN/m^3$$

$$\text{sol 2 : } \sigma_v = \gamma_{sat,2} \cdot z \quad \text{avec : } \gamma_{sat,2} = 19.5kN/m^3$$

Pression interstitielle : $u = \gamma_w(z + \alpha h_m)$, avec $\alpha = 0.47$ (Mendel) et $h_m = h - h_1 + h_2 = 4m$

Contrainte verticale effective : $\sigma'_v = \sigma_v - u$

Contrainte horizontale effective :

$$\text{sol 1 : } \sigma'_{hp} = K_{ph1} \sigma'_v + (K_{ph1} - 1) c'_{k,1} (1/\tan(\phi_1)) \quad \text{avec } c'_{k,1} = 0kN/m^2$$

$$\text{sol 2 : } \sigma'_{hp} = K_{ph2} \sigma'_v + (K_{ph2} - 1) c'_{k,2} (1/\tan(\phi_2)) \quad \text{avec } c'_{k,2} = 5kN/m^2$$

Résultante des actions horizontales s'exerçant sur la paroi

La résultante des actions sur la paroi se calcule ensuite en sommant/soustrayant les valeurs de calcul des actions exercées par le terrain et l'eau de part et d'autre de la paroi.

Les calculs numériques des pressions peuvent être effectués avec Matlab, Mathematica, Excel etc. Vous trouverez dans la Figure 6 le diagramme des valeurs des diverses actions s'exerçant sur la paroi.

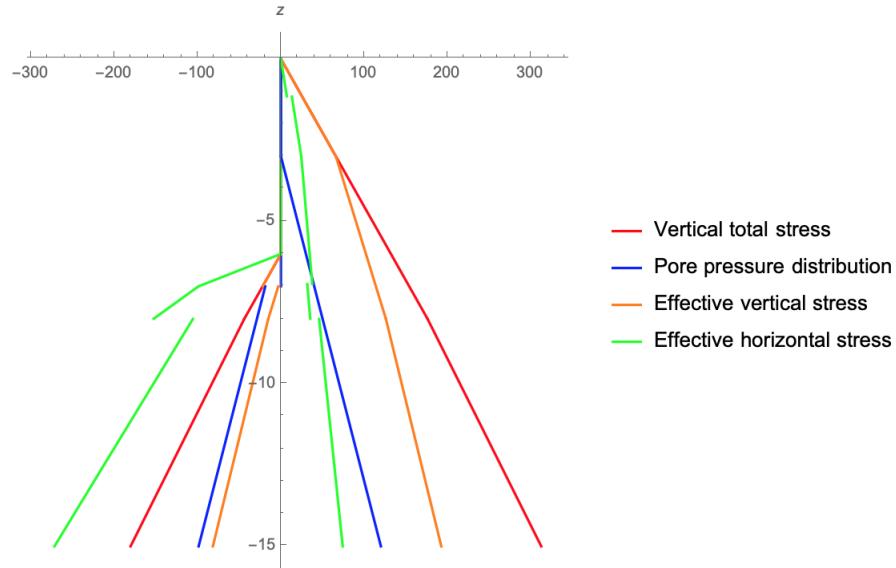


FIGURE 6: Diagramme des actions s'exerçant sur la paroi (en kPa).

Calcul de la résultante se fait selon le schéma de la Figure 7 et en utilisant la formule suivante :

$$r = (e_{a,k} + u_{a,k}) + (e_{p,k} + u_{p,k})$$

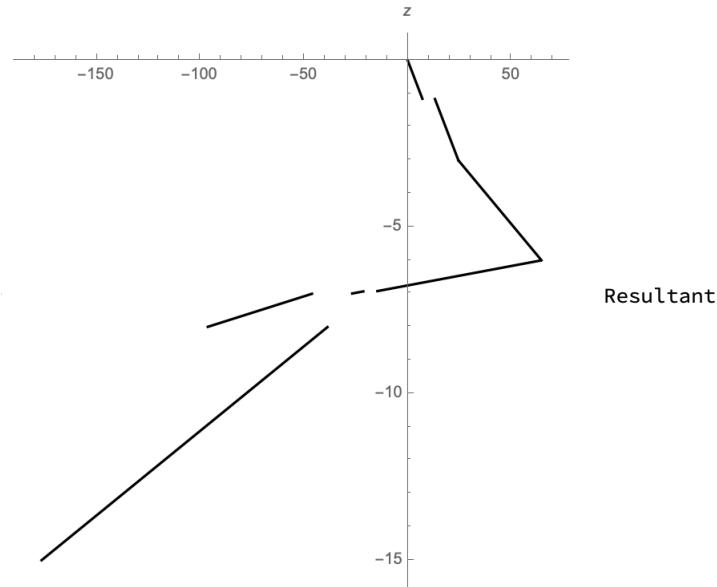


FIGURE 7: Décomposition de la résultante des pressions normales (en kPa).