

DYNAMIQUE DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES

Chapitre 3

Capacité portante sismique des fondations

Exercices

Prof. Mohamed KHEMISSA

*Département de Génie Civil, Faculté de Technologie,
Université Mohamed Boudiaf – M'sila*

Ex. 1 Calculer la capacité portante (taux de travail, contrainte admissible et charge ultime) statique et sismique sous une accélération sismique horizontale $a_h = 0.2g$ d'une semelle filante lisse de largeur $B = 1 \text{ m}$ reposant directement sur un massif de sol sableux de densité $\rho = 1.65$ et d'angle de frottement interne effectif $\varphi' = 35^\circ$. Commenter ensuite les résultats trouvés. Prendre $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Rép. 1

A. Capacité portante statique

A.1. Taux de travail statique du sol

$$q_l = \frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma + \gamma_1 D N_q + c N_c$$

tels que : $B = 1 \text{ m}$

$D = 0 \text{ m}$

$c' = 0 \text{ kPa}$

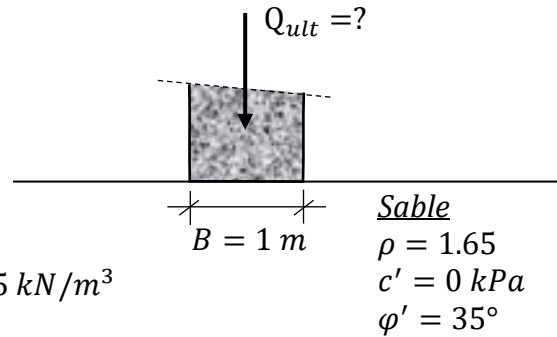
$\gamma_1 = \gamma_2 = \rho g = 1.65 \times 10 = 16.5 \text{ kN/m}^3$

$\delta/\varphi = 0$ (Semelle lisse)

$\tan(\theta) = 0$ (Condition statique : pas de séisme)

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma = N_\gamma\{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 0\} = 8.83 \\ N_q = N_q\{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 0\} = 13.62 \\ N_c = N_c\{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 0\} = 18.02 \end{cases} \quad (\text{Tableaux})$$

$$\Rightarrow q_l = \frac{1}{2} \times 16.5 \times 1 \times 8.83 + 16.5 \times 0 \times 13.62 + 0 \times 18.02 = 72.85 \text{ kPa}$$



A.2. Contrainte admissible statique

$$q_a = \gamma_1 D + \frac{q_l - \gamma_1 D}{F} \quad | \quad F = 3 \text{ (Coefficient de sécurité)}$$

$$\Rightarrow q_a = 16.5 \times 0 + \frac{72.85 - 16.5 \times 0}{3} = 24.28 \text{ kPa}$$

A.3. Charge ultime statique

$$Q_{ult} = q_a A$$

telle que : $A = B \times L = 1 \times 1 = 1 \text{ m}^2$ (Section unitaire de la semelle)

$$\Rightarrow Q_{ult} = 24.28 \times 1 = 24.28 \text{ kN} = 2.428 \text{ t}$$

B. Capacité portante sismique

B.1. Coefficients sismiques

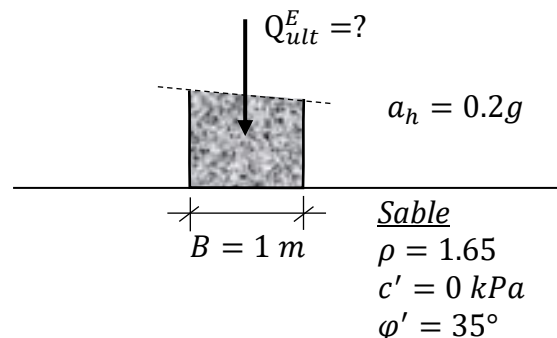
Sachant que : $a_h = 0.2g$

$a_v = 0$

$$\Rightarrow k_h = \frac{a_h}{g} = \frac{0.2g}{g} = 0.2$$

$$k_v = \frac{a_v}{g} = 0$$

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 - k_v} = \frac{0.2}{1 - 0} = 0.2$$



B.2. Taux de travail sismique du sol

$$q_l^E = \frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma^E + \gamma_1 D N_q^E + c N_c^E$$

tels que : $B = 1 \text{ m}$

$$D = 0 \text{ m}$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \rho g = 1.65 \times 10 = 16.5 \text{ kN/m}^3$$

$$\delta/\varphi = 0 \quad (\text{Semelle lisse})$$

$$\tan(\theta) = 0.2 \quad (\text{Condition sismique})$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma^E = N_\gamma^E \{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0.2; \delta/\varphi = 0\} = 5.12 \\ N_q^E = N_q^E \{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0.2; \delta/\varphi = 0\} = 8.31 \\ N_c^E = N_c^E \{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0.2; \delta/\varphi = 0\} = 10.43 \end{cases} \quad (\text{Tableaux})$$

$$\Rightarrow q_l^E = \frac{1}{2} \times 16.5 \times 1 \times 5.12 + 16.5 \times 0 \times 8.31 + 0 \times 10.43 = 42.24 \text{ kPa}$$

B.3. Contrainte admissible sismique

$$q_a^E = \gamma_1 D + \frac{q_l^E - \gamma_1 D}{F} \quad | \quad F = 3 \quad (\text{Coefficient de sécurité})$$

$$\Rightarrow q_a^E = 16.5 \times 0 + \frac{42.24 - 16.5 \times 0}{3} = 14.08 \text{ kPa}$$

B.4. Charge ultime sismique

$$Q_{ult}^E = q_a^E A$$

telle que : $A = B \times L = 1 \times 1 = 1 \text{ m}^2$ (Section unitaire de la semelle)

$$\Rightarrow Q_{ult}^E = 14.08 \times 1 = 14.08 \text{ kN} = 1.408 \text{ t}$$

C. Commentaire

$$Q_{ult}^E = 1.408 \text{ t} < Q_{ult} = 2.428 \text{ t}$$

$\Rightarrow$ Le séisme a pour effet de réduire la capacité portante de la fondation.

Ex. 2 Calculer la capacité portante (taux de travail, contrainte admissible et charge ultime) statique et sismique sous une accélération sismique horizontale $a_h = 0.2g$ d'une semelle filante lisse de largeur $B = 1 \text{ m}$ encastrée de $D = 1.5 \text{ m}$ dans un massif de sol sableux de densité $\rho = 1.65$ et d'angle de frottement interne effectif $\varphi' = 35^\circ$. Commenter ensuite les résultats trouvés. Prendre $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Rép. 2

A. Capacité portante statique

A.1. Taux de travail statique du sol

$$q_l = \frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma + \gamma_1 D N_q + c N_c$$

tels que : $B = 1 \text{ m}$

$D = 1.5 \text{ m}$

$c' = 0 \text{ kPa}$

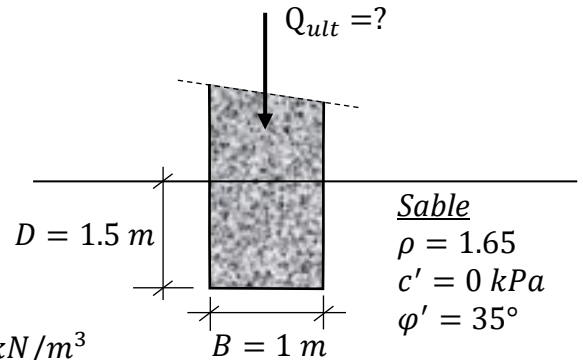
$\gamma_1 = \gamma_2 = \rho g = 1.65 \times 10 = 16.5 \text{ kN/m}^3$

$\delta/\varphi = 0$ (Semelle lisse)

$\tan(\theta) = 0$ (Condition statique : pas de séisme)

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma = N_\gamma\{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 0\} = 8.83 \\ N_q = N_q\{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 0\} = 13.62 \\ N_c = N_c\{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 0\} = 18.02 \end{cases} \quad (\text{Tableaux})$$

$$\Rightarrow q_l = \frac{1}{2} \times 16.5 \times 1 \times 8.83 + 16.5 \times 1.5 \times 13.62 + 0 \times 18.02 = 409.94 \text{ kPa}$$



A.2. Contrainte admissible statique

$$q_a = \gamma_1 D + \frac{q_l - \gamma_1 D}{F} \quad | \quad F = 3 \text{ (Coefficient de sécurité)}$$

$$\Rightarrow q_a = 16.5 \times 1.5 + \frac{409.94 - 16.5 \times 1.5}{3} = 153.15 \text{ kPa}$$

A.3. Charge ultime statique

$$Q_{ult} = q_a A$$

telle que : $A = B \times L = 1 \times 1 = 1 \text{ m}^2$ (Section unitaire de la semelle)

$$\Rightarrow Q_{ult} = 153.15 \times 1 = 153.15 \text{ kN} = 15.315 \text{ t}$$

B. Capacité portante sismique

B.1. Coefficients sismiques

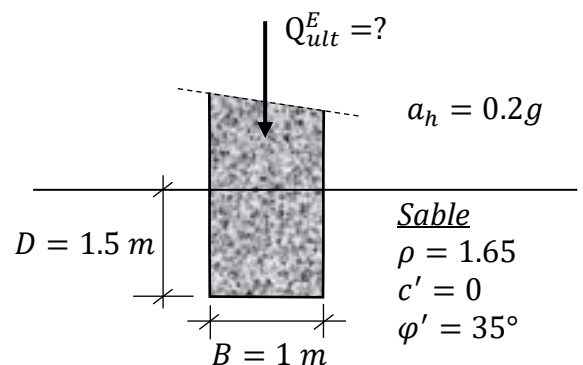
Sachant que : $a_h = 0.2g$

$a_v = 0$

$$\Rightarrow k_h = \frac{a_h}{g} = \frac{0.2g}{g} = 0.2$$

$$k_v = \frac{a_v}{g} = 0$$

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 - k_v} = \frac{0.2}{1 - 0} = 0.2$$



B.2. Taux de travail sismique du sol

$$q_l^E = \frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma^E + \gamma_1 D N_q^E + c N_c^E$$

tels que : $B = 1 \text{ m}$

$$D = 1.5 \text{ m}$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \rho g = 1.65 \times 10 = 16.5 \text{ kN/m}^3$$

$$\delta/\varphi = 0 \quad (\text{Semelle lisse})$$

$$\tan(\theta) = 0.2 \quad (\text{Condition sismique})$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma^E = N_\gamma^E \{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0.2; \delta/\varphi = 0\} = 5.12 \\ N_q^E = N_q^E \{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0.2; \delta/\varphi = 0\} = 8.31 \\ N_c^E = N_c^E \{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0.2; \delta/\varphi = 0\} = 10.43 \end{cases} \quad (\text{Tableaux})$$

$$\Rightarrow q_l^E = \frac{1}{2} \times 16.5 \times 1 \times 5.12 + 16.5 \times 1.5 \times 8.31 + 0 \times 10.43 = 247.91 \text{ kPa}$$

B.3. Contrainte admissible sismique

$$q_a^E = \gamma_1 D + \frac{q_l^E - \gamma_1 D}{F} \quad | \quad F = 3 \quad (\text{Coefficient de sécurité})$$

$$\Rightarrow q_a^E = 16.5 \times 1.5 + \frac{247.91 - 16.5 \times 1.5}{3} = 99.14 \text{ kPa}$$

B.4. Charge ultime sismique

$$Q_{ult}^E = q_a^E A$$

telle que : $A = B \times L = 1 \times 1 = 1 \text{ m}^2$ (Section unitaire de la semelle)

$$\Rightarrow Q_{ult}^E = 99.14 \times 1 = 99.14 \text{ kN} = 9.914 \text{ t}$$

C. Commentaire

$$Q_{ult}^E = 9.914 \text{ t} < Q_{ult} = 15.315 \text{ t}$$

$\Rightarrow$ Bien que l'encastrement de la fondation fait augmenter sa capacité portante, le séisme a tout de même pour effet de la réduire.

Ex. 3 Calculer la capacité portante (taux de travail, contrainte admissible et charge ultime) statique et sismique sous une accélération sismique horizontale $a_h = 0.2g$ d'une semelle filante lisse de largeur $B = 1\text{ m}$ encastrée de $D = 1.5\text{ m}$ dans un massif de sol argilo-sableux de densité $\rho = 1.65$, de cohésion effective $c' = 10\text{ kPa}$ et d'angle de frottement interne effectif $\varphi' = 35^\circ$. Commenter ensuite les résultats trouvés. Prendre $g = 10\text{ m/s}^2$.

Rép. 3

A. Capacité portante statique

A.1. Taux de travail statique du sol

$$q_l = \frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma + \gamma_1 D N_q + c N_c$$

tels que : $B = 1\text{ m}$

$D = 1.5\text{ m}$

$c' = 10\text{ kPa}$

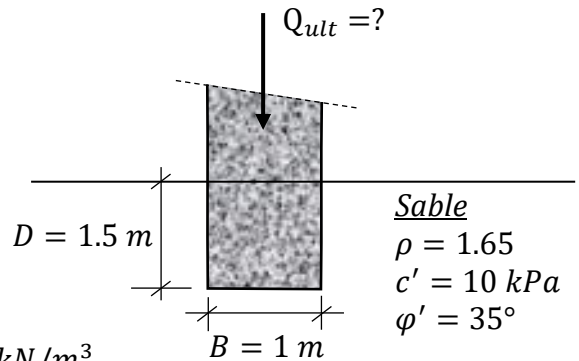
$\gamma_1 = \gamma_2 = \rho g = 1.65 \times 10 = 16.5\text{ kN/m}^3$

$\delta/\varphi = 0$ (Semelle lisse)

$\tan(\theta) = 0$ (Condition statique : pas de séisme)

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma = N_\gamma\{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 0\} = 8.83 \\ N_q = N_q\{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 0\} = 13.62 \\ N_c = N_c\{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 0\} = 18.02 \end{cases} \quad (\text{Tableaux})$$

$$\Rightarrow q_l = \frac{1}{2} \times 16.5 \times 1 \times 8.83 + 16.5 \times 1.5 \times 13.62 + 10 \times 18.02 = 590.14\text{ kPa}$$



A.2. Contrainte admissible statique

$$q_a = \gamma_1 D + \frac{q_l - \gamma_1 D}{F} \quad | \quad F = 3 \text{ (Coefficient de sécurité)}$$

$$\Rightarrow q_a = 16.5 \times 1.5 + \frac{590.14 - 16.5 \times 1.5}{3} = 213.21\text{ kPa}$$

A.3. Charge ultime statique

$$Q_{ult} = q_a A$$

telle que : $A = B \times L = 1 \times 1 = 1\text{ m}^2$ (Section unitaire de la semelle)

$$\Rightarrow Q_{ult} = 213.21 \times 1 = 213.21\text{ kN} = 21.321\text{ t}$$

B. Capacité portante sismique

B.1. Coefficients sismiques

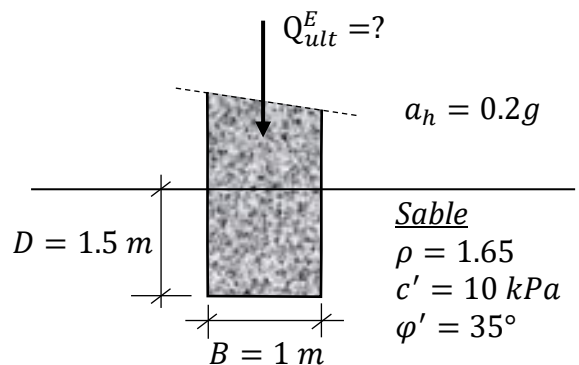
Sachant que : $a_h = 0.2g$

$a_v = 0$

$$\Rightarrow k_h = \frac{a_h}{g} = \frac{0.2g}{g} = 0.2$$

$$k_v = \frac{a_v}{g} = 0$$

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 - k_v} = \frac{0.2}{1 - 0} = 0.2$$



B.2. Taux de travail sismique du sol

$$q_l^E = \frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma^E + \gamma_1 D N_q^E + c N_c^E$$

tels que : $B = 1 \text{ m}$

$$D = 1.5 \text{ m}$$

$$c' = 10 \text{ kPa}$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \rho g = 1.65 \times 10 = 16.5 \text{ kN/m}^3$$

$$\delta/\varphi = 0 \quad (\text{Semelle lisse})$$

$$\tan(\theta) = 0.2 \quad (\text{Condition sismique})$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma^E = N_\gamma^E \{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0.2; \delta/\varphi = 0\} = 5.12 \\ N_q^E = N_q^E \{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0.2; \delta/\varphi = 0\} = 8.31 \\ N_c^E = N_c^E \{\varphi' = 35^\circ; \tan(\theta) = 0.2; \delta/\varphi = 0\} = 10.43 \end{cases} \quad (\text{Tableaux})$$

$$\Rightarrow q_l^E = \frac{1}{2} \times 16.5 \times 1 \times 5.12 + 16.5 \times 1.5 \times 8.31 + 10 \times 10.43 = 352.21 \text{ kPa}$$

B.3. Contrainte admissible sismique

$$q_a^E = \gamma_1 D + \frac{q_l^E - \gamma_1 D}{F} \quad | \quad F = 3 \quad (\text{Coefficient de sécurité})$$

$$\Rightarrow q_a^E = 16.5 \times 1.5 + \frac{352.21 - 16.5 \times 1.5}{3} = 133.90 \text{ kPa}$$

B.4. Charge ultime sismique

$$Q_{ult}^E = q_a^E A$$

telle que : $A = B \times L = 1 \times 1 = 1 \text{ m}^2$ (Section unitaire de la semelle)

$$\Rightarrow Q_{ult}^E = 133.90 \times 1 = 133.90 \text{ kN} = 13.390 \text{ t}$$

C. Commentaire

$$Q_{ult}^E = 13.390 \text{ t} < Q_{ult} = 21.321 \text{ t}$$

$\Rightarrow$ Bien que la cohésion du sol fait augmenter la capacité portante de la fondation, le séisme a tout de même pour effet de la réduire.

Ex. 4 Dimensionner la semelle filante supposée rugueuse ($\delta/\varphi = 1/2$) schématisée ci-après vis-à-vis d'une sollicitation sismique d'accélération sismique horizontale $a_h = 0.3g$. Prendre $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Sable

$$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = 30^\circ$$

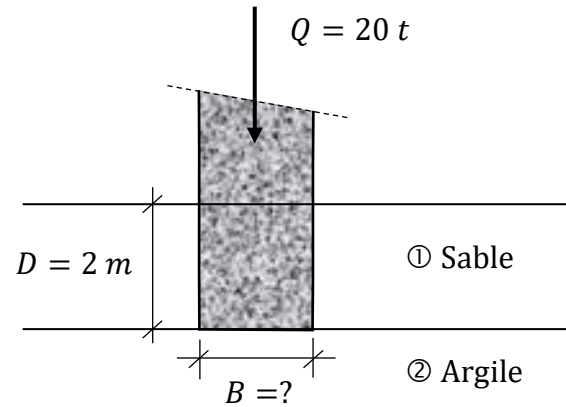
Argile

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$c_u = 100 \text{ kPa}$$

$$c' = 15 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = 25^\circ$$

**Rép. 4****A. Calcul statique****A.1. Dimensionnement à court terme (CT)**

$$c = c_u = 100 \text{ kPa}$$

$$\varphi = \varphi_u = 0^\circ \text{ (argile supposée saturée)}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma = N_\gamma\{\varphi = 0^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 1/2\} = 0 \\ N_q = N_q\{\varphi = 0^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 1/2\} = 1 \\ N_c = N_c\{\varphi = 0^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 1/2\} = 3.36 \end{cases} \quad (\text{Tableaux})$$

$$\Rightarrow q_a = \gamma_1 D + \frac{\frac{1}{2}\gamma_2 B N_\gamma + \gamma_1 D(N_q - 1) + c N_c}{F} \quad | \quad F = 3 \text{ (Coefficient de sécurité)}$$

$$q_a = \gamma_1 D + \frac{3.36 c_u}{3}$$

$$q_a = 17 \times 2 + \frac{3.36 \times 100}{3} = 146 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow q = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \times 1} = \frac{Q}{B} \leq q_a$$

$$\Rightarrow B \geq \frac{Q}{q_a} = \frac{20 \times 10}{146} = 1.37 \text{ m}$$

$$B \# 1.4 \text{ m}$$

A.2. Justification à long terme (LT)

$$c = c' = 15 \text{ kPa}$$

$$\varphi = \varphi' = 25^\circ$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma = N_\gamma\{\varphi' = 25^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 1/2\} = 4.04 \\ N_q = N_q\{\varphi' = 25^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 1/2\} = 9.67 \\ N_c = N_c\{\varphi' = 25^\circ; \tan(\theta) = 0; \delta/\varphi = 1/2\} = 18.59 \end{cases} \quad (\text{Tableaux})$$

$$\Rightarrow q_a = \gamma_1 D + \frac{\frac{1}{2}\gamma_2 B N_\gamma + \gamma_1 D(N_q - 1) + c N_c}{F} \quad | \quad F = 3 \text{ (Coefficient de sécurité)}$$

$$q_a = 17 \times 2 + \frac{\frac{1}{2} \times 20 \times 1.4 \times 4.04 + 17 \times 2 \times (9.67 - 1) + 15 \times 18.59}{3} = 244.06 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow q = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \times 1} = \frac{20 \times 10}{1.4 \times 1} = 142.86 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow q = 142.86 \text{ kPa} < q_a = 244.06 \text{ kPa} \quad \text{Ok. Vérifié.}$$

B. Calcul sismique

B.1. Coefficients sismiques

Sachant que : $a_h = 0.3g$

$$a_v = 0$$

$$\Rightarrow k_h = \frac{a_h}{g} = \frac{0.3g}{g} = 0.3$$

$$k_v = \frac{a_v}{g} = 0$$

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1 - k_v} = \frac{0.3}{1 - 0} = 0.3$$

B.2. Justification à court terme (CT)

$$c = c_u = 100 \text{ kPa}$$

$$\varphi = \varphi_u = 0^\circ \text{ (Argile supposée saturée)}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma^E = N_\gamma^E\{\varphi = 0^\circ; \tan(\theta) = 0.3; \delta/\varphi = 1/2\} = 0 \\ N_q^E = N_q^E\{\varphi = 0^\circ; \tan(\theta) = 0.3; \delta/\varphi = 1/2\} = 1 \\ N_c^E = N_c^E\{\varphi = 0^\circ; \tan(\theta) = 0.3; \delta/\varphi = 1/2\} = 3.36 \end{cases} \quad \text{(Tableaux)}$$

$$\Rightarrow q_a^E = 17 \times 2 + \frac{3.36 \times 100}{3} = 146 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow q = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \times 1} = \frac{20 \times 10}{1.4 \times 1} = 142.86 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow q = 142.86 \text{ kPa} < q_a^E = 146 \text{ kPa} \quad \text{Ok. Vérifié.}$$

B.3. Justification à long terme (LT)

$$c = c' = 15 \text{ kPa}$$

$$\varphi = \varphi' = 25^\circ$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma^E = N_\gamma^E\{\varphi' = 25^\circ; \tan(\theta) = 0.3; \delta/\varphi = 1/2\} = 1.27 \\ N_q^E = N_q^E\{\varphi' = 25^\circ; \tan(\theta) = 0.3; \delta/\varphi = 1/2\} = 3.72 \\ N_c^E = N_c^E\{\varphi' = 25^\circ; \tan(\theta) = 0.3; \delta/\varphi = 1/2\} = 5.84 \end{cases} \quad \text{(Tableaux)}$$

$$\Rightarrow q_a^E = 17 \times 2 + \frac{\frac{1}{2} \times 20 \times 1.4 \times 1.27 + 17 \times 2 \times (3.72 - 1) + 15 \times 5.84}{3} = 99.95 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow q = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \times 1} = \frac{20 \times 10}{1.4 \times 1} = 142.86 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow q = 142.86 \text{ kPa} > q_a^E = 99.95 \text{ kPa} \quad \text{Non vérifié.}$$

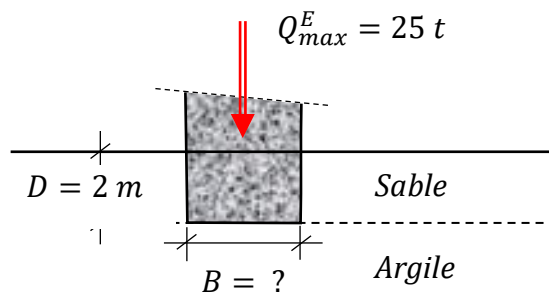
B.4. Redimensionnement de la semelle

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \times 1} = \frac{Q}{B} \leq q_a^E$$

$$\Rightarrow B \geq \frac{Q}{q_a^E} = \frac{20 \times 10}{99.95} = 2.00 \text{ m}$$

$$\Rightarrow B \# 2 \text{ m}$$

Ex. 5 (Interro. du 06/12/2023) Soit une semelle filante ancrée comme l'indique la figure ci-après.



Sable:

$$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi' = 35^\circ$$

Argile

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$c_u = 100 \text{ kPa}$$

$$c' = 10 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 30^\circ$$

$$\delta/\phi = 1/2$$

Déterminer la largeur B de la semelle devant supporter la charge sismique maximale $Q_{max}^E = 25 \text{ t}$ sous un séisme d'accélération horizontale $a_h = 0.3g$.

Rép. 5

- Dimensionnement à court terme (CT) :

- Termes de surface (N_γ^E), de profondeur (N_q^E) et de cohésion (N_c^E) :

Sachant que : $a_h = 0.3g$

$$a_v = 0$$

$$\Rightarrow k_h = \frac{a_h}{g} = \frac{0.3g}{g} = 0.3$$

$$k_v = \frac{a_v}{g} = 0$$

$$\tan(\theta) = \frac{k_h}{1-k_v} = \frac{0.3}{1-0} = 0.3$$

$$\begin{cases} c = c_u = 100 \text{ kPa} \\ \phi = \phi_u = 0^\circ \text{ (argile supposée saturée)} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma^E = N_\gamma^E \{ \phi = 0^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\phi = 1/2 \} = 0 \\ N_q^E = N_q^E \{ \phi = 0^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\phi = 1/2 \} = 1 \\ N_c^E = N_c^E \{ \phi = 0^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\phi = 1/2 \} = 3.36 \end{cases} \quad (\text{Tableaux})$$

- Contrainte admissible (q_a^E) :

$$q_a^E = \gamma_1 D + \frac{\frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma^E + \gamma_1 D (N_q^E - 1) + c N_c^E}{F} \quad | \quad F = 3 \text{ (Coefficient de sécurité)}$$

$$\Rightarrow q_a^E = \gamma_1 D + \frac{3.36 c_u}{3} = 17 \times 2 + \frac{3.36 \times 100}{3} = 146 \text{ kPa}$$

- Largeur de la semelle (B) :

$$q_{max}^E = \frac{Q_{max}^E}{A} = \frac{Q_{max}^E}{B \times 1} = \frac{Q_{max}^E}{B} \leq q_a^E$$

$$\Rightarrow B \geq \frac{Q_{max}^E}{q_a^E} = \frac{25 \times 10}{146} = 1.71 \text{ m}$$

$$\Rightarrow B \# 1.80 \text{ m}$$

- **Justification à long terme (LT) :**

- Termes de surface (N_γ^E), de profondeur (N_q^E) et de cohésion (N_c^E) :

$$\begin{cases} c = c' = 10 \text{ kPa} \\ \varphi = \varphi' = 30^\circ \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma^E = N_\gamma^E \{ \varphi = 30^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\varphi = 1/2 \} = 3.19 \\ N_q^E = N_q^E \{ \varphi = 30^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\varphi = 1/2 \} = 6.52 \\ N_c^E = N_c^E \{ \varphi = 30^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\varphi = 1/2 \} = 9.57 \end{cases} \quad (\text{Tableaux})$$

- Contrainte admissible (q_a^E) :

$$q_a^E = \gamma_1 D + \frac{\frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma^E + \gamma_1 D (N_q^E - 1) + c N_c^E}{F} \quad | \quad F = 3 \text{ (Coefficient de sécurité)}$$

$$\Rightarrow q_a^E = 17 \times 2 + \frac{\frac{1}{2} \times 20 \times 1.80 \times 3.19 + 17 \times 2 \times (6.52 - 1) + 10 \times 9.57}{3} = 147.6 \text{ kPa}$$

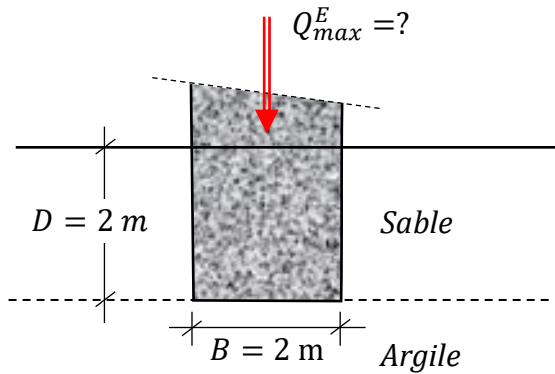
- Charge admissible (Q_a^E) :

$$Q_a^E = q_a^E B = 147.6 \times 1.80 = 265.68 \text{ kN} \quad (= 26.568 \text{ t})$$

- Conclusion : $Q_{max}^E = 25 \text{ t} < Q_a^E = 26.568 \text{ t} \Rightarrow \text{Ok. Vérifié.}$

$\Rightarrow$ Le dimensionnement est bien fait, d'où $B = 1.80 \text{ m}$ est un choix judicieux.

Ex. 6 (EFS du 17/01/2024) Soit une semelle filante de largeur $B = 2 \text{ m}$ ancrée dans un massif bicouche comme l'indique la figure ci-après.

Sable

$$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 35^\circ$$

Argile

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$c_u = 100 \text{ kPa}$$

$$c' = 10 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = 30^\circ$$

$$\delta/\varphi = 0 \text{ (Semelle lisse)}$$

Calculer les capacités portantes sismiques à court terme et à long terme que peut supporter cette semelle filante sous séisme d'accélération horizontale $a_h = 0.3g$, puis déduire la charge sismique maximale Q_{max}^E correspondante.

Rép. 6**- Coefficients sismiques**

$$\text{Sachant que : } \begin{cases} a_h = 0.3g \\ a_v = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k_h = \frac{a_h}{g} = \frac{0.3g}{g} = 0.3 \\ k_v = \frac{a_v}{g} = 0 \end{cases} \Rightarrow \tan(\theta) = \frac{k_h}{1-k_v} = \frac{0.3}{1-0} = 0.3$$

- Capacité portante sismique à court terme (CT) :

- Termes de surface (N_γ^E), de profondeur (N_q^E) et de cohésion (N_c^E) :

$$\begin{cases} c = c_u = 100 \text{ kPa} \\ \varphi = \varphi_u = 0^\circ \text{ (Argile supposée saturée)} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma^E = N_\gamma^E \{ \varphi = 0^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\varphi = 0 \} = 0 \\ N_q^E = N_q^E \{ \varphi = 0^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\varphi = 0 \} = 1 \\ N_c^E = N_c^E \{ \varphi = 0^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\varphi = 0 \} = 3.36 \end{cases} \quad (\text{Tableaux})$$

- Contrainte admissible (q_a^E) :

$$q_a^E = \gamma_1 D + \frac{\frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma^E + \gamma_1 D (N_q^E - 1) + c N_c^E}{F} \quad | \quad F = 3 \text{ (Coefficient de sécurité)}$$

$$\Rightarrow q_a^E = \gamma_1 D + \frac{3.36 c_u}{3} = 17 \times 2 + \frac{3.36 \times 100}{3} = 146 \text{ kPa}$$

- Charge admissible ($[Q_a^E]_{CT}$) :

$$[Q_a^E]_{CT} = q_a^E \times A = q_a^E \times B \times 1 = 146 \times 2 \times 1 = 292 \text{ kN} \quad (= 29.2 \text{ t})$$

- **Capacité portante sismique à long terme (LT) :**

- Termes de surface (N_γ^E), de profondeur (N_q^E) et de cohésion (N_c^E) :

$$\begin{cases} c = c' = 10 \text{ kPa} \\ \varphi = \varphi' = 30^\circ \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma^E = N_\gamma^E \{ \varphi = 30^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\varphi = 0 \} = 1.87 \\ N_q^E = N_q^E \{ \varphi = 30^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\varphi = 0 \} = 4.25 \\ N_c^E = N_c^E \{ \varphi = 30^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\varphi = 0 \} = 5.62 \end{cases} \quad (\text{Tableaux})$$

- Contrainte admissible (q_a^E) :

$$q_a^E = \gamma_1 D + \frac{\frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma^E + \gamma_1 D (N_q^E - 1) + c N_c^E}{F} \quad | \quad F = 3 \text{ (Coefficient de sécurité)}$$

$$\Rightarrow q_a^E = 17 \times 2 + \frac{\frac{1}{2} \times 17 \times 2 \times 1.87 + 17 \times 2 \times (4.25 - 1) + 10 \times 5.62}{3} = 100.2 \text{ kPa}$$

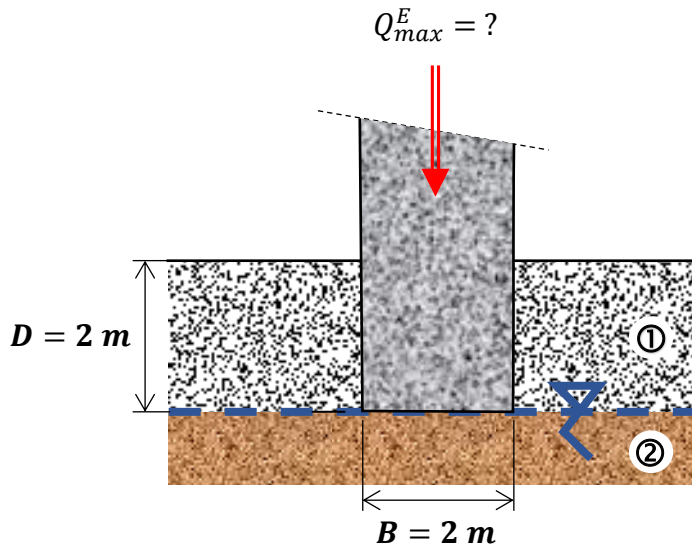
- Charge admissible ($[Q_a^E]_{LT}$) :

$$[Q_a^E]_{LT} = q_a^E \times A = q_a^E \times B \times 1 = 100.2 \times 2 \times 1 = 200.4 \text{ kN} \quad (= 20 \text{ t})$$

- **Charge maximale sous séisme :**

- $Q_{max}^E = \min([Q_a^E]_{CT} = 292 \text{ kN} ; [Q_a^E]_{LT} = 200.4 \text{ kN}) = 200.4 \text{ kN} \quad (= 20.0 \text{ t})$

Ex. 7 (EFS du 21/01/2025) Soit une semelle filante de largeur $B = 2 \text{ m}$ ancrée à $D = 2 \text{ m}$ dans un bicouche « sable et argile » en présence d'une nappe d'eau comme l'indique la figure ci-après.

① Sable

$$\gamma_d = 15 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 35^\circ$$

② Argile

$$\gamma_{sat} = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$c_u = 100 \text{ kPa}$$

$$c' = 10 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = 30^\circ$$

$$\delta/\varphi = 1/2 \text{ (Semelle rugueuse)}$$

Calculer les capacités portantes sismiques à court terme et à long terme que peut supporter cette semelle filante sous séisme d'accélération horizontale $a_h = 0.3g$, puis déduire la charge sismique maximale Q_{max}^E correspondante.

Rép. 7**- Coefficients sismiques**

$$\text{Sachant que : } \begin{cases} a_h = 0.3g \\ a_v = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k_h = \frac{a_h}{g} = \frac{0.3g}{g} = 0.3 \\ k_v = \frac{a_v}{g} = 0 \end{cases} \Rightarrow \tan(\theta) = \frac{k_h}{1-k_v} = \frac{0.3}{1-0} = 0.3$$

- Capacité portante sismique à court terme (CT) :

- Termes de surface (N_γ^E), de profondeur (N_q^E) et de cohésion (N_c^E) :

$$\begin{cases} c = c_u = 100 \text{ kPa} \\ \varphi = \varphi_u = 0^\circ \text{ (Argile saturée)} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma^E = N_\gamma^E \{ \varphi = 0^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\varphi = 1/2 \} = 0 \\ N_q^E = N_q^E \{ \varphi = 0^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\varphi = 1/2 \} = 1 \\ N_c^E = N_c^E \{ \varphi = 0^\circ ; \tan(\theta) = 0.3 ; \delta/\varphi = 1/2 \} = 3.36 \end{cases} \quad (\text{Tableaux})$$

- Contrainte admissible (q_a^E) :

$$q_a^E = \gamma_1 D + \frac{\frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma^E + \gamma_1 D (N_q^E - 1) + c N_c^E}{F} = \gamma_d D + \frac{3.36 c_u}{3}$$

$$\Rightarrow q_a^E = 15 \times 2 + \frac{3.36 \times 100}{3} = 142 \text{ kPa}$$

- Charge admissible ($[Q_a^E]_{CT}$) :

$$[Q_a^E]_{CT} = q_a^E \times A = q_a^E \times B \times 1 = 142 \times 2 \times 1 = 284 \text{ kN} \quad (= 28.4 \text{ t})$$

- **Capacité portante sismique à long terme (LT) :**

- Termes de surface (N_γ^E), de profondeur (N_q^E) et de cohésion (N_c^E) :

$$\begin{cases} c = c' = 10 \text{ kPa} \\ \varphi = \varphi' = 30^\circ \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_\gamma^E = N_\gamma^E \{\varphi = 30^\circ; \tan(\theta) = 0.3; \delta/\varphi = 1/2\} = 3.19 \\ N_q^E = N_q^E \{\varphi = 30^\circ; \tan(\theta) = 0.3; \delta/\varphi = 1/2\} = 6.52 \\ N_c^E = N_c^E \{\varphi = 30^\circ; \tan(\theta) = 0.3; \delta/\varphi = 1/2\} = 9.57 \end{cases} \quad (\text{Tableaux})$$

- Contrainte admissible (q_a^E) :

$$q_a^E = \gamma_1 D + \frac{\frac{1}{2} \gamma_2 B N_\gamma^E + \gamma_1 D (N_q^E - 1) + c N_c^E}{F} \quad | \quad \gamma_1 = \gamma_d \quad \& \quad \gamma_2 = \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$\Rightarrow q_a^E = 15 \times 2 + \frac{\frac{1}{2} \times (20 - 10) \times 2 \times 3.19 + 15 \times 2 \times (6.52 - 1) + 10 \times 9.57}{3} = 127.7 \text{ kPa}$$

- Charge admissible ($[Q_a^E]_{LT}$) :

$$[Q_a^E]_{LT} = q_a^E \times A = q_a^E \times B \times 1 = 127.7 \times 2 \times 1 = 255 \text{ kN} \quad (= 25.5 \text{ t})$$

- **Charge maximale sous séisme :**

- $Q_{max}^E = \min([Q_a^E]_{CT} = 284 \text{ kN} ; [Q_a^E]_{LT} = 255 \text{ kN}) = 255 \text{ kN} \quad (= 25.5 \text{ t})$