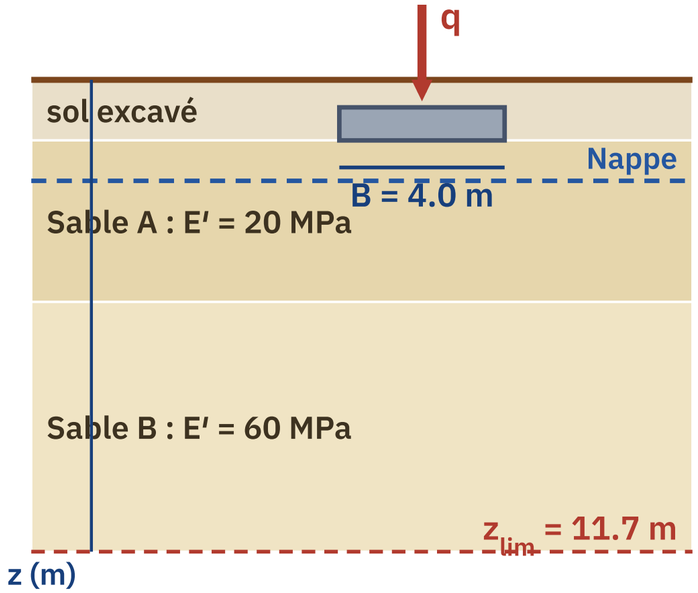
Présentation de cours de géotechnique · Tassement

Tassement élastique : sol pulvérulent

Cours : de la théorie de l'élasticité aux coefficients de Steinbrenner, du profil stratifié à la fondation souple et à la fondation rigide ; les couches de sable et de grave se comportent en conditions drainées (E′, ν′) ; un exemple de calcul pour chaque sujet.

Loi de Hooke
Coefficients de Steinbrenner
Profil stratifié
Pression nette
Fondation souple et rigide
Exemples de calcul



Introduction

Que verrons-nous dans ce cours ?

De la loi de Hooke à l'intégrale du tassement : $\varepsilon_z = [\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)]/E$ et $S = \int \varepsilon_z \, dz$

Calculer les **coefficients de Steinbrenner** (F_1, F_2, I_s) et déterminer le tassement au **centre** et au **coin** d'une semelle rectangulaire

Traiter les couches granulaires en condition **drainée** : $E'/p_a = \alpha \, N_{60}$, $\nu' \approx 0.25–0.35$

Sommer le **profil stratifié** à l'aide de la différence $I_s(z_{inf}) - I_s(z_{sup})$

Déterminer la **pression nette** (effet de l'excavation) et la **profondeur de calcul** (profondeur d'influence)

Distinguer le tassement d'une fondation **souple** et celui d'une fondation **rigide** (rigide ≈ 0.93 × souple au centre)

DÉROULÉ DU COURS

Chaque thème est traité en **trois étapes** :

1 · **Théorie** : quelle est la règle, pourquoi en est-il ainsi ?

2 · **Énoncé** : données et à déterminer

3 · **Solution** : étape par étape, avec les valeurs numériques

Fondation de l'exemple : fondation rectangulaire souple de 4 m × 6 m, q = 180 kPa, profondeur de fouille 1.5 m, nappe à 2.5 m ; couche de sable. Les tassements sont exprimés en mm.

Que calcule ce module ?

THÉORIE

Ce module ne traite que les couches **granulaires** (sable, grave) et calcule le **tassement élastique** : le sable évacuant immédiatement son eau, son tassement est entièrement élastique.

À partir des contraintes de **Boussinesq** du sol sous la charge, la déformation est obtenue par la **loi de Hooke**, et l'intégrale de la déformation est le tassement.

Le tassement immédiat des couches d'argile se trouve dans le module « Tassement élastique : sols cohérents », la consolidation dans le module « Consolidation », et la somme de l'ensemble dans le module « Tassement total ».

La solution est **analytique** : coefficients d'influence en forme fermée et sommation couche par couche ; pas d'éléments finis.

Hors du domaine : méthode de Schmertmann, abaques SPT/CPT, module croissant avec la profondeur (Mayne–Poulos), rigidité de la fondation et interaction sol–structure.

TYPE DE COUCHE

	Pulvérulent
Comportement	drainé
E	E' (p. ex. $\alpha\, N_{60}$)
v	0.25 – 0.35

Loi de Hooke et intégrale de tassement

THÉORIE

Sous une fondation **parfaitement souple** supportant la pression nette q_{net}, le sol est un milieu élastique homogène semi-infini (contraintes de Boussinesq). La loi de Hooke donne la déformation verticale et son intégrale donne le tassement :

$$S = \int \varepsilon_z \, dz = \int \frac{\Delta\sigma_z - \nu \left(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y\right)}{E} \, dz$$

Les contraintes latérales dépendent de v ; c'est pourquoi la déformation et le tassement varient à la fois avec **E et v**.

Lorsque v augmente, les contraintes latérales **réduisent** la déformation verticale : à E identique, un sol avec v = 0.5 tasse moins qu'un sol avec v = 0.3.

Le tassement est **inversement proportionnel** à E : doubler le module d'Young divise le tassement par deux.

NOTATIONS

q_{net} : contrainte nette (appliquée après la fouille)

$\Delta\sigma_z$, $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$: accroissements de contrainte

E, v : constantes élastiques de la couche

ε_z : déformation verticale (compression +)

Énoncé

EXEMPLE

Données

Accroissement de contrainte	$\Delta\sigma_z = 100\ \text{kPa},\ \Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y = 40\ \text{kPa}$
Sol	$E' = 20\ \text{MPa},\ \nu' = 0.30$
Tranche	**épaisseur 1.0 m**

À DÉTERMINER

Déterminer la déformation verticale et la compression de la tranche ; comparer avec l'hypothèse v = 0 (unidimensionnelle).

Solution

SOLUTION

1 Déformation verticale

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)}{E} = \frac{100 - 0.30(40 + 40)}{20{,}000} = \frac{76.0}{20{,}000} = \mathbf{0.00380}$$

2 Compression de la tranche (H = 1.0 m)

$$\Delta S = \varepsilon_z H = 0.00380(1.0) = \mathbf{3.80}\ \text{mm}$$

3 Comparaison : v = 0

$$\varepsilon_z = \frac{100}{20{,}000} = 0.00500 \ \Rightarrow\ \Delta S = 5.00\ \text{mm}$$

Les contraintes latérales (v = 0.30) réduisent la déformation de **24 %** : 3.80 mm, contre 5.00 mm en unidimensionnel.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Solution analytique pour le coin

THÉORIE

Pour l'**angle** d'un rectangle uniformément chargé, l'intégrale admet une solution en forme fermée (Steinbrenner) :

$$S = q_{net}\,\alpha\,B'\,\frac{1-\nu^2}{E}\,I_s \qquad I_s = F_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu}\,F_2$$

$$F_1 = \frac{A_0 + A_1}{\pi} \qquad F_2 = \frac{n'}{2\pi}\tan^{-1} A_2$$

m′ = L′/B′ et n′ = z/B′ (B′ étant le petit côté du rectangle de coin). Le **centre** est le coin commun de quatre rectangles (B/2 × L/2) : α = 4, B′ = B/2. Le **coin** est le coin du rectangle entier : α = 1, B′ = B. Tout autre point correspond à la somme algébrique des quatre rectangles ayant un coin en ce point.

> Pour v = 0.5, (1 − 2v) = 0 : **$I_s = F_1$** et (1 − v²) = 0.75.

NOTATIONS

α : nombre de rectangles d'angle (4 au centre, 1 en angle)

B′ : petit côté du rectangle d'angle

m′ = L′/B′, n′ = z/B′

z : profondeur à partir du niveau de la fondation

I_s : facteur de forme

A_0, A_1, A_2 et limite de la bande

THÉORIE

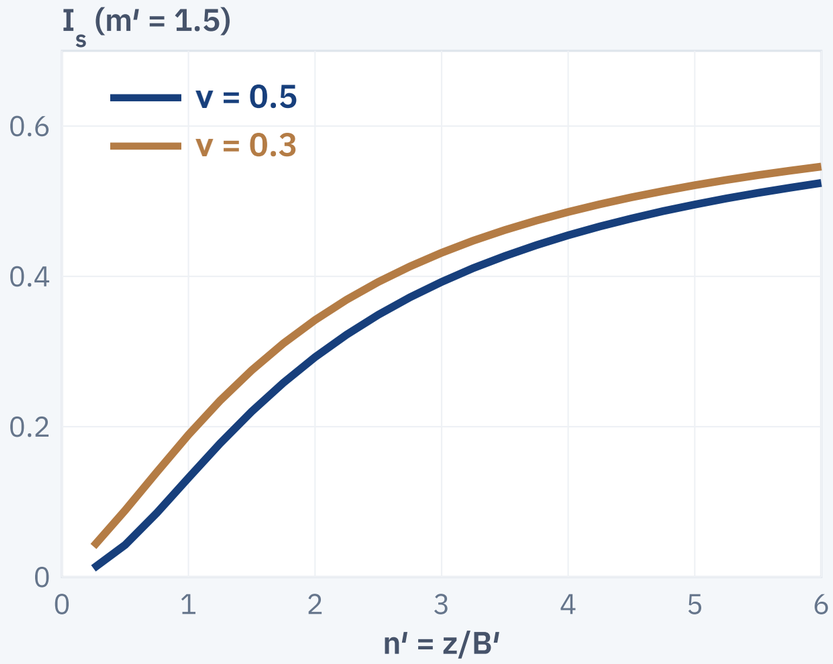
$$A_0 = m' \ln \frac{\left(1+\sqrt{m'^2+1}\right)\sqrt{m'^2+n'^2}}{m'\left(1+\sqrt{m'^2+n'^2+1}\right)}$$

$$A_1 = \ln \frac{\left(m'+\sqrt{m'^2+1}\right)\sqrt{1+n'^2}}{m'+\sqrt{m'^2+n'^2+1}} \qquad A_2 = \frac{m'}{n'\sqrt{m'^2+n'^2+1}}$$

Semelle filante ($m' \to \infty$) : $F_1 = \ln(1+n'^2)/2\pi$ et $F_2 = (n'/2\pi)\tan^{-1}(1/n')$; sur son bord, $\alpha = 2$, $B' = B$.

Le moteur calcule directement les formules ; ni abaques ni tableaux arrondis ne sont nécessaires.

I_s augmente avec la profondeur et **sature lentement** : la contribution des couches profondes est limitée (ci-contre $m' = 1.5$).



Énoncé

EXEMPLE

Données

Fondation	**B × L = 4 × 6 m, à la profondeur z′ = 4 m sous le centre (à partir du niveau de la fondation)**
Rectangle de coin	**B/2 × L/2 = 2 × 3 m ⇒ B′ = 2 m, m′ = 1.5, n′ = z′/B′ = 2.0**
Sol	$\nu' = 0.30$

À DÉTERMINER

Déterminer les valeurs de **A_0, A_1, A_2, F_1, F_2** et de **I_s**.

Solution

SOLUTION

1 A_0, A_1, A_2 (racines carrées : $\sqrt{(m'^2+1)} = 1.8028$; $\sqrt{(m'^2+n'^2)} = 2.5000$; $\sqrt{(m'^2+n'^2+1)} = 2.6926$)

$$A_0 = 1.5 \ln \frac{(1+1.8028)(2.5000)}{1.5(1+2.6926)} = \mathbf{0.3527} \qquad A_1 = \ln \frac{(1.5+1.8028)\sqrt{5}}{1.5+2.6926} = \mathbf{0.5662}$$

$$A_2 = \frac{1.5}{2(2.6926)} = \mathbf{0.2785}$$

2 F_1, F_2 et I_s

$$F_1 = \frac{0.3527+0.5662}{\pi} = \mathbf{0.2925} \qquad F_2 = \frac{2}{2\pi}\tan^{-1}(0.2785) = \mathbf{0.0865}$$

$$I_s = F_1 + \frac{1-2(0.30)}{1-0.30}F_2 = \mathbf{0.3419}$$

$I_s = F_1 + 0.5714\,F_2 =$ **0.3419** ; avec $\nu' = 0.5$, on aurait $F_1 = 0.2925$ (14 % de moins).

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Module d'élasticité drainé E′ et ν′

THÉORIE

Le sable libérant son eau immédiatement, il se comporte en régime drainé ; son tassement est entièrement élastique. Dans la source (Das), le module d'Young du sable est déduit du SPT par **$E'/p_a = \alpha\, N_{60}$** ($p_a \approx 100$ kPa) :

$$\frac{E'}{p_a} = \alpha\, N_{60} \qquad \alpha = 5 \text{ (sable à grains fins)}\ \ 10 \text{ (NC propre)}\ \ 15 \text{ (SC propre)}$$

Le module du sable **augmente** avec la profondeur : diviser une couche épaisse en plusieurs couches de E′ croissant.

ν′ vaut généralement 0.25–0.35 ; il faut ν′ < 0.5 (ν′ ≥ 0.5 ne peut pas être saisi pour une couche granulaire).

Le tassement élastique varie également avec ν′ : il diminue lorsque ν′ augmente.

α POUR LE SABLE

α	E′ (N_{60} = 20)
5	10 MPa
10	20 MPa
15	30 MPa

Énoncé

EXEMPLE

Données

Sable	$N_{60} = 20$, $p_a = 100$ kPa; $\alpha = 5,\ 10,\ 15$
Coefficient de Poisson	$\nu' = 0.25;\ 0.30;\ 0.35$ **(E′ = 20 MPa)**
Référence	**Tassement d'une couche unique pour α = 10, ν′ = 0.30 : S = 29.0 mm (exemple 6)**

À DÉTERMINER

Pour chaque α, **E′** ; tassement pour ν′ = 0.25, 0.30, 0.35 et 0.5.

Solution

SOLUTION

1 $E' = \alpha N_{60} p_a$ ($N_{60} = 20$; $p_a = 100$ kPa)

$$E' = \alpha N_{60} p_a : \quad 5(20)(0.1) = \mathbf{10}\ \text{MPa},\ \ 10(20)(0.1) = \mathbf{20},\ \ 15(20)(0.1) = \mathbf{30}\ \text{MPa}$$

v′	0.25	0.30	0.35	0.50
S (mm)	30.1	29.0	27.7	22.8
$S / S_{v'=0.30}$	1.038	1.000	0.955	0.786

Lorsque E′ passe de 10 à 30 MPa, le tassement passe de 58 à 19 mm (inversement proportionnel). Une variation de v′ de 0.25 à 0.35 ne modifie le tassement que de 8 % ; avec v′ = 0.5, il serait inférieur de 21 %.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

La fouille décharge d'abord le sol

THÉORIE

La fouille supprime la **contrainte verticale effective des terres** au niveau du fond (niveau de la nappe inchangé). Lorsqu'un seul module de déformation est utilisé à la fois pour le déchargement et pour le rechargement, le soulèvement élastique de la fouille est récupéré au rechargement ; le tassement immédiat est gouverné par la **contrainte nette** :

$$q_{net} = q_{gross} - \sigma'_{v0}(D_{exc})$$

$\sigma'_{v0}(D_{exc})$: contrainte effective initiale au fond de fouille (γ au-dessus de la nappe, $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ au-dessous).

Si $q_{net} \leq 0$, aucun tassement ne se produit (une valeur négative correspond à un soulèvement élastique).

En l'absence d'excavation, $q_{net} = q_{gross}$ (la pression est appliquée à la surface du terrain).

NEDEN NET?

Une charge égale au poids du sol enlevé lors de la fouille est **restituée** lorsque la fondation est réalisée. Le tassement du sol ne provient que de la pression **ajoutée en sus** de cette charge.

Énoncé

EXEMPLE

Données

Charge	$q_{gross} = 180\ \mathrm{kPa}$ **; profondeur de fouille** $D_{exc} = 1.5\ \mathrm{m}$
Sol	$\gamma = 18.5\ \mathrm{kN/m^3},\ \gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3}$
Nappe	**(a) 2.5 m (sous le fond de fouille) · (b) 1.0 m (au-dessus du fond de fouille)**

À DÉTERMINER

Dans chaque cas, déterminer les valeurs de $\sigma'_{v0}(D_{exc})$ et de q_{net}.

Solution

SOLUTION

1 (a) nappe à 2.5 m > 1.5 m : pas d'eau au fond de fouille

$$\sigma'_{v0} = \gamma D_{exc} = 18.5(1.5) = 27.75 \text{ kPa} \Rightarrow q_{net} = 180 - 27.75 = \mathbf{152.25} \text{ kPa}$$

2 (b) Nappe à 1.0 m : le fond de fouille est à 0.5 m sous le niveau de l'eau (γ′ = 19.5 – 9.81 = 9.69 kN/m³)

$$\sigma'_{v0} = 18.5(1.0) + 9.69(0.5) = 23.345 \text{ kPa} \Rightarrow q_{net} = 180 - 23.345 = \mathbf{156.66} \text{ kPa}$$

Si la nappe se situe au-dessus du fond de fouille, la contrainte effective retirée diminue et la pression nette **augmente**, de 152.2 à 156.7 kPa : une nappe haute accroît le tassement immédiat.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Profondeur d'influence : Δσ = p · q

THÉORIE

L'accroissement de contrainte sous la charge diminue avec la profondeur sans jamais s'annuler ; une limite inférieure de la sommation est donc nécessaire : **la profondeur de calcul z_{lim}**. Le module propose deux règles :

Profondeur d'influence : profondeur sous le centre à laquelle l'accroissement de Boussinesq retombe à la fraction **p** de la pression appliquée (couramment p = 10 %) : $I(z') = p$ et $z_{lim} = D_f + z'$.

Base du profil : le calcul s'arrête à la dernière couche (une base rigide telle que le rocher ou la grave dense ; couche de Steinbrenner à base rigide).

Si le profil se termine au-dessus de z_{lim}, la dernière couche se prolonge jusqu'à z_{lim} avec les mêmes propriétés.

$$I = \frac{\Delta\sigma_z}{q} = 4\, I_{corner}(m, n) \qquad m = \frac{B}{2z'},\ n = \frac{L}{2z'}$$

z′/B (p = %10 | %20)

L/B	p = %10	p = %20
1.0	2.09 B	1.40 B
1.5	2.55 B	1.70 B
2.0	2.92 B	1.94 B
5.0	4.33 B	2.68 B
bande	6.34 B	3.13 B

Énoncé

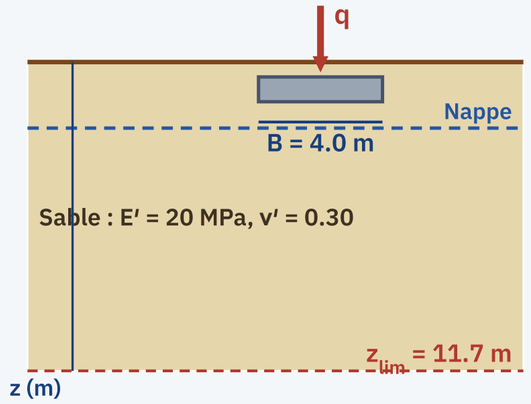
EXEMPLE

Données

Fondation	**B × L = 4 × 6 m (L/B = 1.5), au fond de fouille ; D_f = 1.5 m**
Règle	**profondeur d'influence, p = 10 % (I = 0.10)**
Formule	$I = 4\, I_{corner}(m, n),\ m = B/2z',\ n = L/2z'$

À DÉTERMINER

z′ et **z_{lim}** ; valeur de I pour z′ = 4 m et 10.19 m.



Solution

SOLUTION

1 z′ = 4 m: m = 2/4 = 0.5; n = 3/4 = 0.75

$$I = 4\, I_{corner}(0.5;\ 0.75) = 4(0.1071) = \mathbf{0.4283}$$

2 Condition I = 0.10 : par dichotomie

$$z' = \mathbf{10.19}\ \mathrm{m} \quad (= 2.55\, B)$$

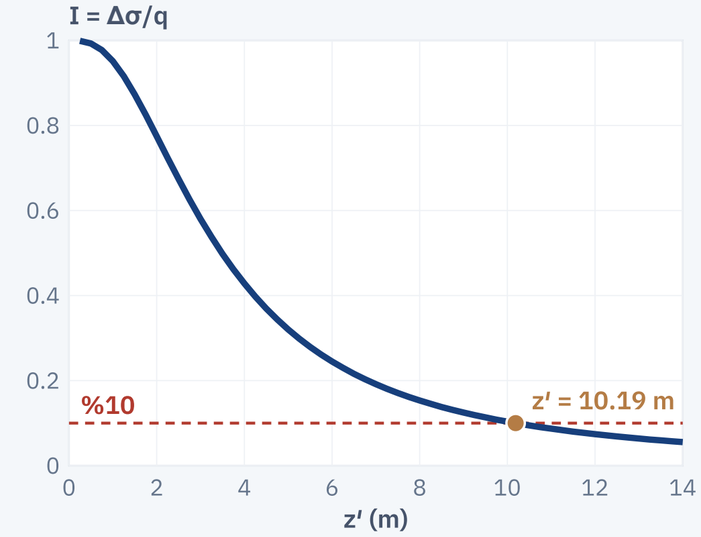
$$z_{lim} = D_f + z' = 1.5 + 10.19 = \mathbf{11.69}\ \mathrm{m}$$

3 Vérification : z′ = 10.19 m ⇒ m = 2/z′, n = 3/z′

$$m = 0.1963,\ n = 0.2945$$

$$I = 4(0.0250) = \mathbf{0.1000}$$

La sommation s'effectue jusqu'à la profondeur de 10.19 m (2.55 B) ; au-delà se trouve la zone où la pression est inférieure à 10 %. Pour une semelle carrée 2.09 B, pour une semelle filante 6.34 B : **une fondation large agit plus profondément**.



Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Contribution de la couche : différence de I_s

THÉORIE

Une couche comprise entre z_{sup} et z_{inf} (à partir du niveau de la fondation) apporte la **différence de la solution du milieu semi-infini entre deux profondeurs**, avec ses propres E et v :

$$\Delta S = q_{net}\,\alpha\,B'\,\frac{1-\nu^2}{E}\,\left[I_s(z_{bottom}) - I_s(z_{üst})\right]$$

Il s'agit de l'intégrale de la déformation de Hooke sur la couche (avec les contraintes du demi-espace homogène) : pour cette hypothèse, elle est **exacte** ; le résultat ne dépend pas de l'épaisseur Δz des tranches (les tranches servent uniquement aux tableaux et aux zones colorées).

Il remplace le **module moyen pondéré** dans la formule monocouche.

Une couche dont la rigidité augmente avec la profondeur doit être divisée en plusieurs couches.

TOTAL

Le tassement du profil est la **somme** des contributions des couches jusqu'à z_{lim} : S = Σ ΔS_i. Pour chaque couche, seule la partie comprise entre le niveau de la fondation et z_{lim} est comptée.

Énoncé

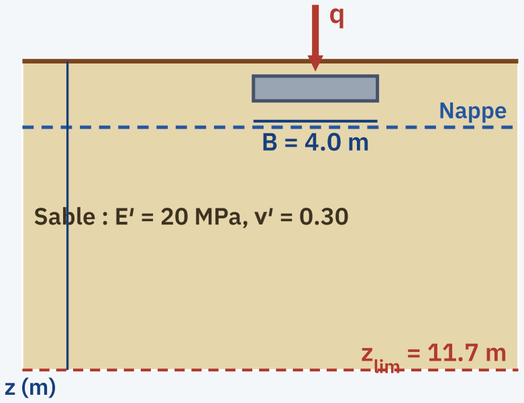
EXEMPLE

Données

Fondation	**rectangulaire, B × L = 4 × 6 m, profondeur de la base D_f = 1.5 m (fond de fouille)**
Charge	$q_{gross} = 180\ \mathrm{kPa}$ **(semelle flexible, pression uniforme)**
Sol	**sable à couche unique :** $E' = 20\ \mathrm{MPa}$, $\nu' = 0.30$, $\gamma = 18.5\ \mathrm{kN/m^3}$ **; niveau de la nappe 2.5 m**
Profondeur de calcul	**profondeur d'influence, p = 10 % (Exemple 5) : z′ = 10.19 m, z_{lim} = 11.69 m ; la couche se poursuit jusqu'à cette profondeur**

À DÉTERMINER

Tassement **S** au **centre** de la fondation souple.



Solution (1/2)

SOLUTION

1 Pression nette (exemple 4a) et coefficient k = $q_{net}(1 - \nu^2)/E$

$$q_{net} = 152.25\ \text{kPa} \qquad k = \frac{q_{net}(1-\nu^2)}{E} = \frac{152.25(0.91)}{20{,}000} = 0.006927\ (\text{sans dimension})$$

2 Centre : α = 4, B′ = B/2 = 2 m, m′ = 1.5 ; z′ = 10.19 m ⇒ n′ = z′/B′ = 5.094

$$A_0 = 0.6569,\ A_1 = 0.9097,\ A_2 = 0.0545$$

$$F_1 = 0.4986,\ F_2 = 0.0441 \ \Rightarrow\ I_s = \mathbf{0.5239}$$

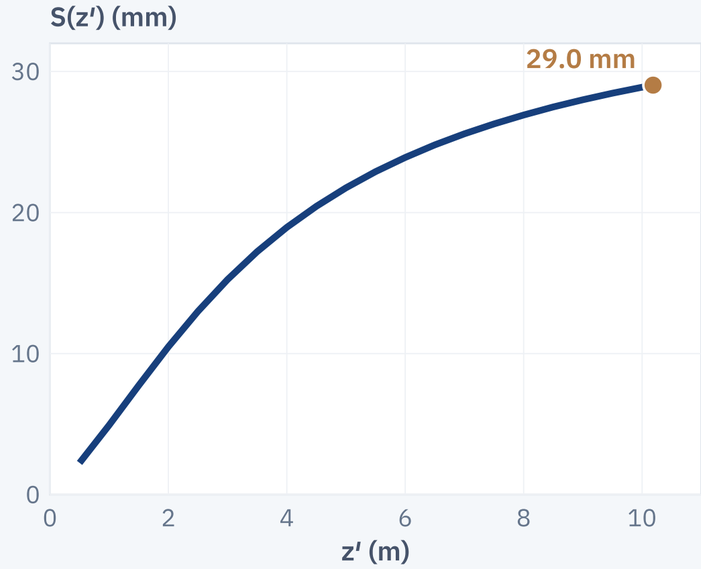
Solution (2/2)

SOLUTION

3 Tassement : S = k · α B′ · I_s

$$S = 0.006927\,(4)(2)(0.5239) = 0.006927(4.1909)$$
$$= 0.02903\ \text{m} = \mathbf{29.0\ mm}$$

Tassement au centre : **29.0 mm**. Sur le graphique S(z′) : la plus grande partie du tassement se produit dans les 2B supérieurs (8 m) ; la contribution des couches profondes est faible.



Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

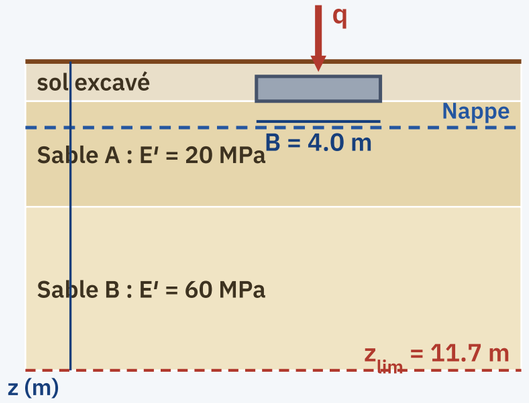
EXEMPLE

Données

Fondation, charge	**B × L = 4 × 6 m, q_{gross} = 180 kPa, D_f = 1.5 m ⇒ q_{net} = 152.25 kPa**
Couche A	**4 m d'épaisseur depuis le niveau de la fondation : $E' = 20\ \mathrm{MPa}$**
Couche B	**en dessous, jusqu'à z_{lim} : $E' = 60\ \mathrm{MPa}$**
Profondeur de calcul	**z'_{lim} = 10.19 m**

À DÉTERMINER

Déterminer le tassement **au centre** pour chaque couche, puis le total ; comparer avec une couche unique.



Solution (1/2)

SOLUTION

1 Coefficients de couche k = $q_{net}(1 - \nu^2)/E$ et $\alpha\, B'\, I_s$ (centre ; Exemples 2 et 6)

$$k_A = \frac{152.25(0.91)}{20{,}000} = 0.006927 \qquad k_B = \frac{152.25(0.91)}{60{,}000} = 0.002309$$

$$8\, I_s(z' = 4) = 8(0.3419) = 2.7351 \qquad 8\, I_s(z'_{lim}) = 4.1909$$

Lorsque le profil est divisé en deux couches, chaque couche est calculée **avec son propre module de déformation**, en additionnant l'accroissement de I_s sur son propre intervalle.

Solution (2/2)

SOLUTION

2 Tassements par couche et total

$$\Delta S_A = k_A (8I_s)_4 = 0.006927(2.7351) = 18.9 \text{ mm}$$

$$\Delta S_B = k_B \left[(8I_s)_{lim} - (8I_s)_4\right] = 0.002309(4.1909 - 2.7351) = 3.4 \text{ mm}$$

$$S = \Delta S_A + \Delta S_B = \mathbf{22.3 \text{ mm}}$$

Le tassement total au centre est de **22.3 mm** (moteur de calcul : 22.3 mm). La couche unique (E = 20 MPa) donnait 29.0 mm : la couche inférieure étant **plus rigide**, le tassement a diminué de **23 %** ; la couche A reprend 85 % du total.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Tassement au centre, au coin et tassement rigide

THÉORIE

Les formules donnent le tassement d'une fondation **parfaitement souple** : **maximal au centre**, minimal à l'angle ; leur différence est le **tassement différentiel** de la fondation souple. Une fondation rigide tasse **uniformément** : environ 0.93 fois la valeur au centre de la fondation souple :

$$S_{rigid} \approx 0.93\, S_{center} \qquad S_{diff} = S_{center} - S_{köşe}$$

Centre : α = 4, B′ = B/2. Coin : α = 1, B′ = B (coin du rectangle complet).

Encastrement : le coefficient de profondeur de Fox I_f (fonction de D_f/B, B/L et ν) réduit le tassement d'une fondation encastrée. Le module prend $I_f = 1$: aucune correction, **du côté de la sécurité**.

REMARQUE

Une semelle réelle se situe entre le cas flexible et le cas rigide. Le module fournit les deux valeurs extrêmes ; la rigidité intermédiaire et l'interaction sol–structure sortent de son domaine.

Énoncé

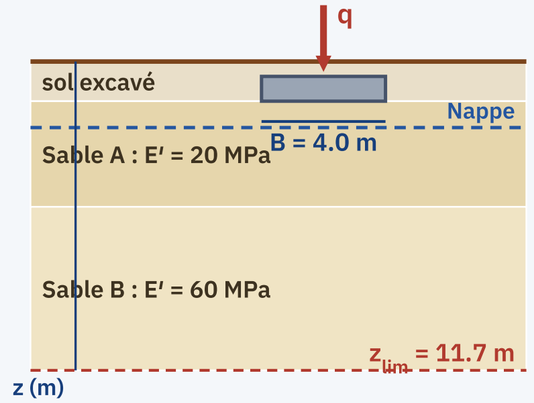
EXEMPLE

Données

Profil	**Exemple 7 : couche A (4 m) et couche B ; z'_{lim} = 10.19 m**
Fondation	**souple, 4 × 6 m**
Angle	**α = 1, B′ = B = 4 m ⇒ m′ = L/B = 1.5; n′ = z′/4**

À DÉTERMINER

Tassement en **angle**, tassement d'une semelle **rigide** et tassement **différentiel** d'une semelle flexible.



Solution

SOLUTION

1 Valeurs 4·I_s pour le coin (n′ = z′/4)

$$z' = 4\ (n' = 1):\ 4\,I_s = 0.7565$$

$$z'_{lim} = 10.19\ (n' = 2.547):\ 4\,I_s = 1.5865$$

2 Tassement au coin

$$S_{köşe} = k_A(0.7565) + k_B(1.5865 - 0.7565) = 5.2 + 1.9 = \mathbf{7.2\ mm}$$

3 Rigide et différentiel

$$S_{rigid} = 0.93(22.3) = \mathbf{20.7\ mm} \qquad S_{diff} = 22.3 - 7.2 = \mathbf{15.2\ mm}$$

Centre 22.3, angle 7.2, rigide 20.7 mm ; tassement différentiel de la fondation souple : **15.2 mm**. L'angle ne tasse qu'à raison de 32 % du tassement au centre.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

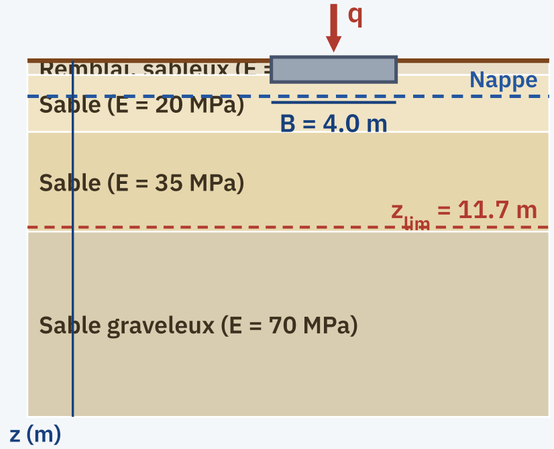
EXEMPLE

Données

Fondation	**B × L = 4 × 6 m, q_{gross} = 180 kPa, profondeur de fouille 1.5 m, nappe phréatique à 2.5 m**
Profil	**Remblai sableux 0–1 m : E′ = 8 MPa ; Sable 1–5 m : E′ = 20 MPa ; Sable 5–12 m : E′ = 35 MPa ; Sable graveleux 12–25 m : E′ = 70 MPa**
Profondeur de calcul	**profondeur d'influence, p = 10%**

À DÉTERMINER

Tassement au **centre** et au **coin**, couche par couche ; tassement au centre et au coin d'une fondation flexible, tassement d'une fondation rigide et tassement différentiel.



Solution (1/2)

SOLUTION

1 Pression nette (fond de fouille à 1.5 m)

$$\sigma'_{v0}(1.5) = 27.25\ \text{kPa} \quad \Rightarrow \quad q_{net} = 180 - 27.25 = \mathbf{152.75}\ \text{kPa}$$

2 Profondeur de calcul et couches

$z_{lim} = 1.5 + 10.19 = \mathbf{11.69}\ \text{m}$ la couche située au-dessus du fond de fouille est retirée

Le fond de fouille (1.5 m) se trouve à l'intérieur de la couche Sable : seule la partie des couches située sous 1.5 m est prise en compte. z_{lim} = 11.69 m, qui reste à l'intérieur de la couche Sable ; cette couche est donc tronquée.

Solution (2/2)

SOLUTION

Couche	z (m)	H (m)	E (MPa)	k (×10⁻³)	ΔS au centre (mm)	ΔS coin (mm)
Sable (SM, lâche à moyennement dense)	1.50 – 5.00	3.50	20	6.950	17.3	4.6
Sable (SM, moyennement dense)	5.00 – 11.69	6.69	35	3.972	6.8	3.7
Total					**24.1**	**8.3**

Centre **24.1 mm**, angle 8.3 mm, rigide 22.4 mm, différentiel 15.8 mm. Le module donne les mêmes valeurs.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Points à retenir lors de la lecture des résultats

THÉORIE

Hypothèses :

- Niveau de la fondation = fond de fouille ; pression uniforme sur une semelle parfaitement souple.
- Dans chaque couche, les contraintes d'un **demi-espace homogène** (avec le v de cette couche).
- Chaque couche est granulaire et se tasse **drainé** (E′, v′).
- Pas de correction d'encastrement ; semelle rigide ≈ 0.93 × centre de la semelle flexible.
- Convention de signe : le tassement est **positif** ; le sélecteur de l'en-tête permet de passer à la convention où le tassement vers le haut est positif.

Hors du domaine d'application : couches d'argile ; Schmertmann, abaques SPT/CPT, module croissant avec la profondeur, rigidité de la fondation et interaction sol–structure, éléments finis.

PLAGES DE COULEUR

Les vues en coupe montrent l'accroissement de contrainte, le module de déformation, la déformation et le tassement S(z) par bandes de couleur ; la valeur au centre au niveau de la fondation est le tassement résultant.

Synthèse

Points à retenir

Hooke : $\varepsilon_z = [\Delta\sigma_z - \nu(\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)]/E$; $\mathbf{S = \int \varepsilon_z\, dz}$; inversement proportionnel à E

Steinbrenner : $S = q_{net}\, \alpha\, B'\, (1 - \nu^2)/E \cdot I_s$; $I_s = F_1 + (1 - 2\nu)/(1 - \nu)\, F_2$; centre : $\alpha = 4$, $B' = B/2$; angle : $\alpha = 1$, $B' = B$

Sable : $E'/p_a = \alpha\, N_{60}$ ($\alpha = 5, 10, 15$), $\nu' \approx 0.25–0.35$; le tassement diminue lorsque ν' augmente

Stratifié : $\Delta S = q_{net}\, \alpha\, B'\, (1 - \nu^2)/E \cdot [I_s(z_{inf}) - I_s(z_{sup})]$; indépendant de l'épaisseur de la tranche

Pression nette $q_{net} = q_{gross} - \sigma'_{v0}(D_{exc})$; **profondeur de calcul** $I(z') = p$ (2.09 B pour une semelle carrée, 2.55 B pour L = 1.5 B, 6.34 B pour une semelle filante)

Flexible : centre > coin (tassement différentiel) ; **rigide** ≈ 0.93 × centre ; pas de correction d'encastrement ($I_f = 1$)

Références bibliographiques

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage.

Steinbrenner, W. (1934). Tafeln zur Setzungsberechnung. Die Strasse, 1, 121–124.

Fox, E.N. (1948). The mean elastic settlement of a uniformly loaded area at a depth below the ground surface. Proc. 2nd ICSMFE, Rotterdam, 1, 129–132.

Bowles, J.E. (1996). Foundation Analysis and Design, 5th ed. McGraw-Hill.

Duncan, J.M. & Buchignani, A.L. (1976). An engineering manual for settlement studies. University of California, Berkeley.

Kulhawy, F.H. & Mayne, P.W. (1990). Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design. EPRI EL-6800.

REMARQUE

Tous les exemples numériques ont été produits avec le moteur de calcul propre au module ; le module donne les mêmes valeurs.

Calculs géotechniques en ligne

De la théorie à la pratique

Calculer pas à pas dans GeoTerva le projet exemple de cette présentation : le module s'ouvre avec ce modèle.

Ouvrir le module →

Page de théorie →

Ouvrir sur smartphone
Les modules d'essai ne nécessitent pas d'inscription.

Si vous souhaitez les utiliser dans vos cours : info@geoterva.com