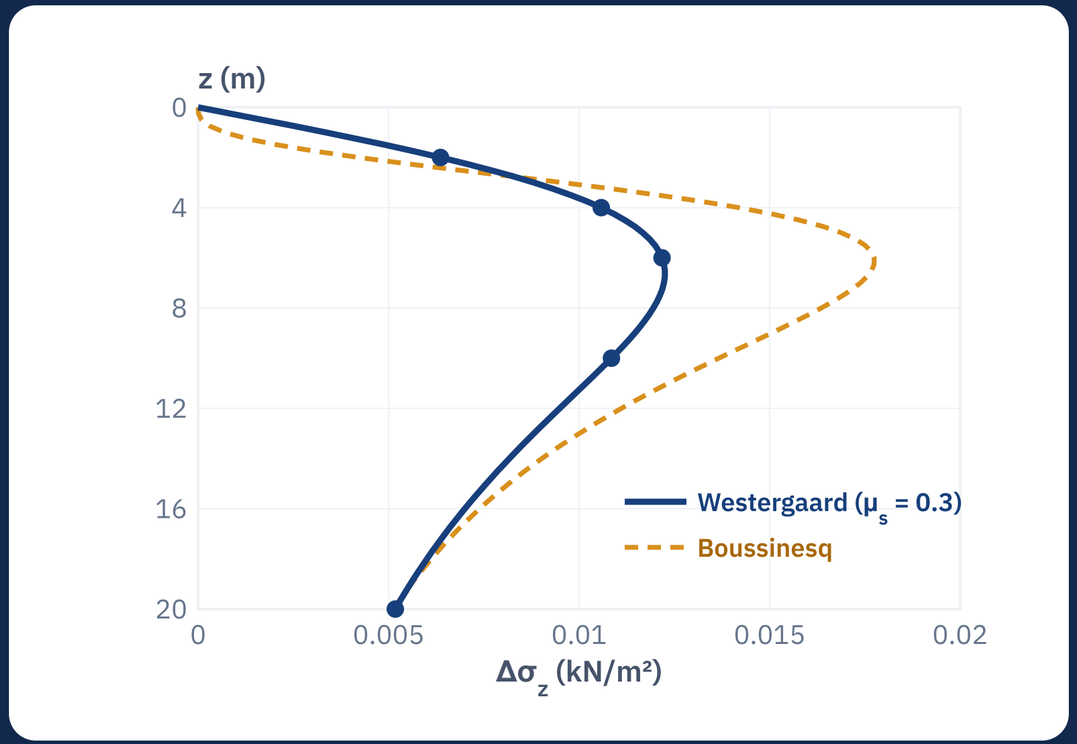
Cours de géotechnique · Contraintes dans le massif de sol

Westergaard : contrainte sous une charge ponctuelle

Cours : contrainte sous une charge ponctuelle dans un sol stratifié dont les déformations latérales sont limitées par des plaques rigides ; un point est résolu à la main de bout en bout.

- Milieu de Westergaard
- η et I_5
- Effet de μ_s
- Comparaison avec Boussinesq
- Superposition



Que verrons-nous dans ce cours ?

Le **milieu de Westergaard** : une idéalisation du sol élastique contenant de minces plaques horizontales rigides qui empêchent la déformation latérale

L'accroissement de contrainte verticale sous une charge ponctuelle : **η**, la **valeur d'influence I_5** et **$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$**

Où la contrainte de Westergaard est plus petite et où elle est plus grande que celle de **Boussinesq** ; le rôle du coefficient de Poisson **μ_s**

Variation avec la profondeur et la distance horizontale, profondeur de la contrainte maximale

Superposition de plusieurs charges ponctuelles

DÉROULÉ DU COURS

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

1 · **Théorie** : formule et justification

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

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

Exemple : P = 5 kN, le point A est à r = 5 m de la charge et à z = 4 m de profondeur ; dans le sol compris entre les plaques, $\mu_s = 0.3$.

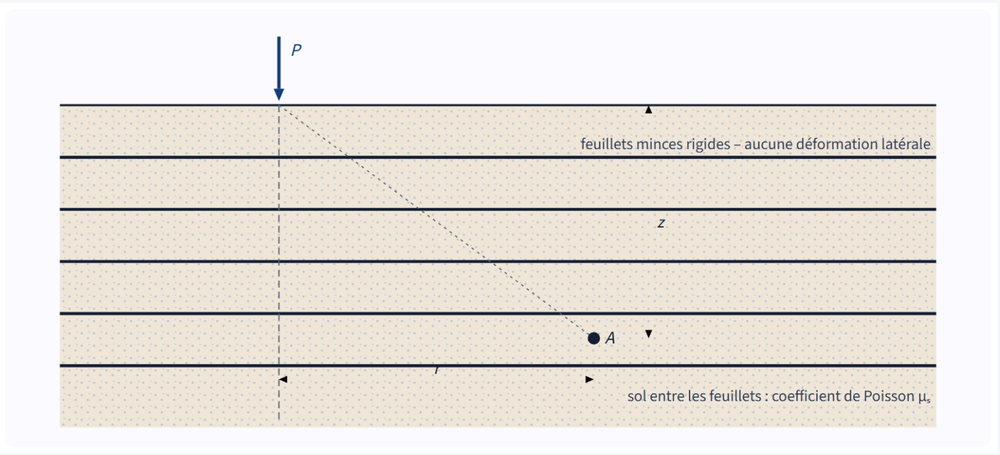
Sol avec plaque horizontale rigide

THÉORIE

Les solutions fondées sur Boussinesq reposent sur l'intégration de la solution de la charge ponctuelle pour un demi-espace **homogène et isotrope**. Or de nombreux sols sont **stratifiés**

Exemple : argile contenant de fines passées sableuses et dont la déformation horizontale est limitée par des couches plus rigides

Westergaard (1938) a idéalisé ce sol comme suit : un milieu élastique contenant un grand nombre de **feuillets horizontaux minces et rigides** qui interdisent la déformation latérale



Accroissement de contrainte verticale et η

THÉORIE

Accroissement de contrainte verticale provoqué en un point A, situé à la distance horizontale **r** et à la profondeur **z**, par la charge ponctuelle **P** appliquée en surface ; μ_s est le coefficient de Poisson du sol compris entre des plaques rigides, $r = \sqrt{(x^2 + y^2)}$

La solution est réécrite avec une **valeur d'influence**, comme dans Boussinesq I_1

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\,\eta}{2\pi z^2}\left[\frac{1}{\eta^2 + (r/z)^2}\right]^{3/2}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{1 - 2\mu_s}{2 - 2\mu_s}}$$

$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$

THÉORIE

La solution de Westergaard s'écrit, comme celle de Boussinesq, sous la forme $\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$; I_5 ne dépend que de $r/(\eta z)$ et de η

Pour comparaison, solution de Boussinesq : $\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_1$, I_1 ne dépendant que de r/z (la contrainte verticale est indépendante du coefficient de Poisson)

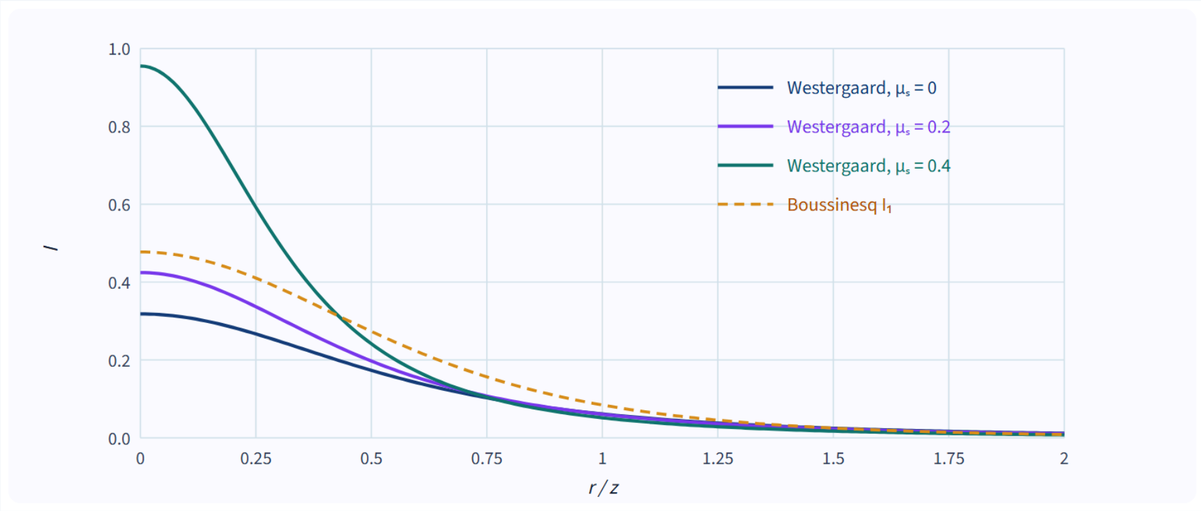
$$\Delta\sigma_z = \left(\frac{P}{z^2}\right) I_5 \qquad I_5 = \frac{1}{2\pi\eta^2}\left[\left(\frac{r}{\eta z}\right)^2 + 1\right]^{-3/2}$$

$$\text{Boussinesq :} \quad I_1 = \frac{3}{2\pi}\left[\left(\frac{r}{z}\right)^2 + 1\right]^{-5/2}$$

Variation de la valeur d'influence en fonction de r/z

THÉORIE

r/z	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.5	2	3	5
$\mu_s = 0$	0.3183	0.3090	0.2836	0.2483	0.2099	0.1733	0.1411	0.0925	0.0613	0.0247	0.0118	0.0038	0.0009
$\mu_s = 0.2$	0.4244	0.4080	0.3646	0.3074	0.2491	0.1972	0.1547	0.0953	0.0604	0.0229	0.0107	0.0034	0.0008
$\mu_s = 0.4$	0.9549	0.8750	0.6916	0.4997	0.3480	0.2416	0.1700	0.0897	0.0516	0.0173	0.0076	0.0023	0.0005
Boussinesq I_1	0.4775	0.4657	0.4329	0.3849	0.3295	0.2733	0.2214	0.1386	0.0844	0.0251	0.0085	0.0015	0.0001



Westergaard et Boussinesq sous la charge

THÉORIE

Sous la charge (r = 0), la contrainte de Westergaard est **inférieure** à celle de Boussinesq pour **μ_s = 0** : $I_5 = 1/\pi = 0.3183$; pour Boussinesq, $I_1 = 3/2\pi = 0.4775$. Les dalles rigides répartissent la charge latéralement

Sous la charge, la contrainte **augmente avec μ_s** ; pour **μ_s = 0.5**, η = 0 et la solution **perd sa validité**. Le module admet μ_s entre 0 et 0.49

μ_s	0.00	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.45	0.49
η	0.7071	0.6667	0.6124	0.5774	0.5345	0.4082	0.3015	0.1400
η^2	0.5000	0.4444	0.3750	0.3333	0.2857	0.1667	0.0909	0.0196
I_5 (r = 0) = $1/(2\pi\eta^2)$	0.3183	0.3581	0.4244	0.4775	0.5570	0.9549	1.7507	8.1169

Superposition

THÉORIE

Le milieu de Westergaard étant **élastique**, la contrainte due à chaque charge est obtenue avec sa **propre distance r** au point A, et les contraintes se **somment**

Les charges sont situées à leurs propres positions sur le terrain ; huit charges au plus peuvent être saisies et deux charges ne peuvent occuper la même position

La valeur de comparaison de Boussinesq est également sommée de la même manière

$$\Delta\sigma_z = \sum_k \frac{P_k}{z^2}\, I_{5,k} \qquad r_k = \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2} \qquad I_{5,k} = I_5\left(\frac{r_k}{\eta z}\right)$$

Énoncé

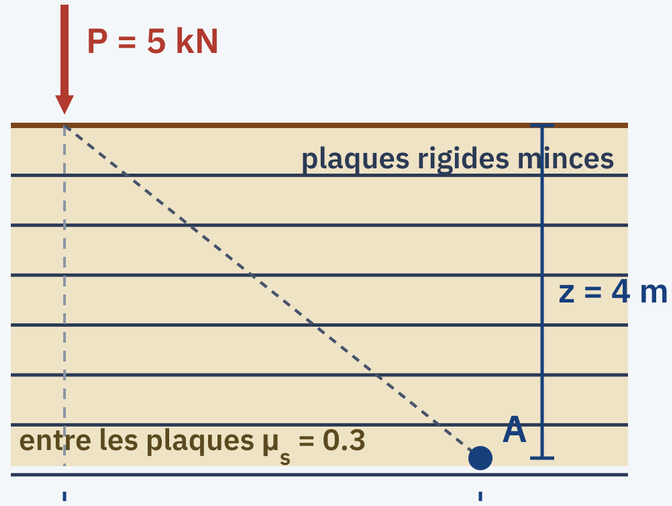
EXEMPLE

Données

Charge	**en surface** $P = 5$ **kN,** $(x_L;\, y_L) = (0;\, 0)$
Point A	$x = 3$ **m,** $y = 4$ **m,** $z = 4$ **m**
Sol	**entre les plaques** $\mu_s = 0.3$

À DÉTERMINER

η, **r/(ηz)**, valeur d'influence $\mathbf{I_5}$, $\mathbf{\Delta\sigma_z}$ et comparaison avec la contrainte de Boussinesq.



Solution (1/3)

SOLUTION

1 Constante de Westergaard η

$$\eta = \sqrt{\frac{1-2\mu_s}{2-2\mu_s}} = \sqrt{\frac{1-0.6}{2-0.6}} = \sqrt{0.2857} = \mathbf{0.5345}$$

2 Distance horizontale et r/(ηz)

$$r = \sqrt{x^2+y^2} = \sqrt{3^2+4^2} = \mathbf{5.00}\ \mathrm{m}$$

$$\frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.5345\,(4)} = \mathbf{2.3385}$$

η = **0.5345** (η² = 0.2857). Le point A est à une distance **r = 5 m** de la charge ; dans Boussinesq, cette distance interviendrait par r/z = 1.25, dans Westergaard par r/(ηz) = **2.3385**.

Solution (2/3)

SOLUTION

3 Valeur d'influence I_5

$$I_5 = \frac{1}{2\pi\eta^2}\left[\left(\frac{r}{\eta z}\right)^2 + 1\right]^{-3/2} = \frac{1}{2\pi\,(0.2857)}\left[2.3385^2 + 1\right]^{-3/2}$$

$$= 0.5570 \times [6.4687]^{-3/2} = 0.5570 \times 0.06078 = \mathbf{0.03386}$$

4 Accroissement de contrainte verticale

$$\Delta\sigma_z = \frac{P}{z^2}\,I_5 = \frac{5}{4^2}\,(0.03386) = 0.3125 \times 0.03386 = \mathbf{0.01058}\ \mathrm{kN/m^2}$$

Une charge ponctuelle de 5 kN en surface produit au point A, dans le milieu de Westergaard, un accroissement **$\Delta\sigma_z$ = 0.01058 kN/m²** (I_5 = 0.03386).

Solution (3/3)

SOLUTION

5 Vérification avec la première forme de l'équation

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\eta}{2\pi z^2}\left[\frac{1}{\eta^2 + (r/z)^2}\right]^{3/2} = \frac{5\,(0.5345)}{2\pi\,(16)}\left[\frac{1}{0.2857 + 1.5625}\right]^{3/2} = \mathbf{0.01058}$$

6 Boussinesq (comparaison)

$$I_1 = \frac{3}{2\pi}\left[\left(\frac{r}{z}\right)^2 + 1\right]^{-5/2} = \frac{3}{2\pi}\left[2.5625\right]^{-5/2} = \mathbf{0.04542}$$

$$\Delta\sigma_{z,B} = \frac{5}{4^2}\,(0.04542) = \mathbf{0.01419}\ \mathrm{kN/m^2} \qquad \frac{\Delta\sigma_z}{\Delta\sigma_{z,B}} = 0.745$$

Les deux formulations donnent le même résultat. En ce point, la contrainte de Westergaard représente environ **74.5 %** de celle de Boussinesq : comme les plaques rigides répartissent la charge latéralement, la contrainte est plus faible à profondeur intermédiaire.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

EXEMPLE

Données

Charge et point	$P = 5$ **kN ; le point A est à** $r = 5$ **m de la charge ;** $\mu_s = 0.3$
Profondeurs	$z = 2,\ 4,\ 6 \ldots 20$ **m (tableau des profils du module)**

À DÉTERMINER

À chaque profondeur : **r/(ηz)**, **I_5**, contraintes de Westergaard et de Boussinesq ; **profondeur de la contrainte maximale**.

Solution (1/2)

SOLUTION

z (m)	r/(ηz)	I_5	$\Delta\sigma_z$ Westergaard	$\Delta\sigma_z$ Boussinesq	Rapport W/B
2	4.677	0.0051	**0.00636**	0.00422	1.509
4	2.339	0.0339	**0.01058**	0.01419	0.745
6	1.559	0.0877	**0.01218**	0.01774	0.686
8	1.169	0.1529	**0.01195**	0.01636	0.731
10	0.935	0.2170	**0.01085**	0.01367	0.794
12	0.780	0.2733	**0.00949**	0.01111	0.854
14	0.668	0.3202	**0.00817**	0.00902	0.905
16	0.585	0.3584	**0.00700**	0.00739	0.948
18	0.520	0.3892	**0.00601**	0.00612	0.982
20	0.468	0.4140	**0.00518**	0.00513	1.009

À **z = 2 m**, la contrainte de Westergaard est plus grande (0.00636 et 0.00422) ; **aux profondeurs intermédiaires, elle est plus petite** (z = 6 m : 0.01218 et 0.01774) ; à **z = 20 m**, les deux solutions se rapprochent (0.00518 et 0.00513).

Solution (2/2)

SOLUTION

1 à la main pour z = 10 m

$$\frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.5345\,(10)} = 0.9354$$

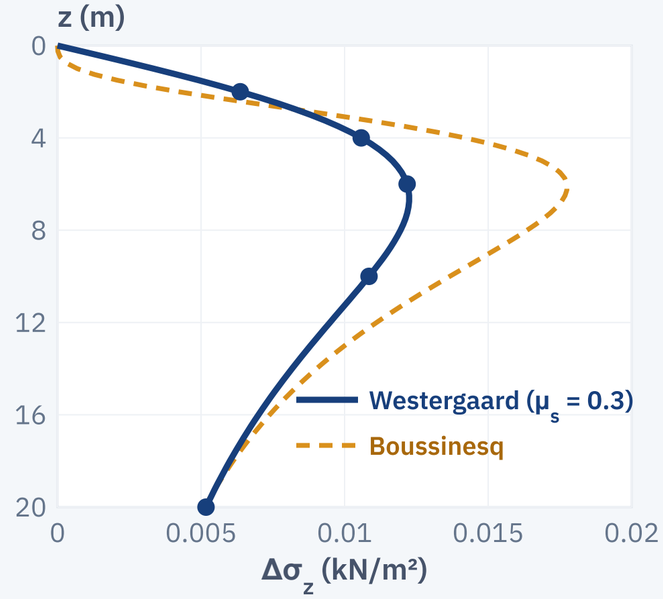
$$I_5 = 0.5570\,[1.8750]^{-3/2} = 0.2170$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{10^2}\,(0.2170) = \mathbf{0.01085}\ \mathrm{kN/m^2}$$

2 Profondeur de la contrainte maximale ($d\Delta\sigma_z/dz = 0$)

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\eta}{2\pi}\,z\,(r^2 + \eta^2 z^2)^{-3/2}$$

$$z^* = \frac{r}{\sqrt{2}\,\eta} = \frac{5}{1.4142\,(0.5345)} = \mathbf{6.61}\ \mathrm{m}$$



Contrainte maximale : Westergaard à **z = 6.61 m** (0.01225), Boussinesq (z* = r√1.5) à **z = 6.12 m** (0.01775 kN/m²).

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

EXEMPLE

Données

Charge et point	$P = 5$ **kN,** $r = 5$ **m,** $z = 4$ **m (point de l'exemple 1)**
Variable	$\mu_s = 0;\ 0.1;\ 0.2;\ 0.3;\ 0.4;\ 0.45;\ 0.49$

À DÉTERMINER

Pour chaque μ_s : **η**, **r/(ηz)**, $\mathbf{I_5}$, $\mathbf{\Delta\sigma_z}$ et rapport à la valeur de Boussinesq.

Solution (1/3)

SOLUTION

μ_s	η	$r/(\eta z)$	I_5	$\Delta\sigma_z$ (kN/m²)	$\Delta\sigma_z$ / Boussinesq
0.00	0.7071	1.768	0.03799	**0.01187**	0.836
0.10	0.6667	1.875	0.03732	**0.01166**	0.822
0.20	0.6124	2.041	0.03614	**0.01129**	0.796
0.30	0.5345	2.339	0.03386	**0.01058**	0.745
0.40	0.4082	3.062	0.02858	**0.00893**	0.629
0.45	0.3015	4.146	0.02257	**0.00705**	0.497
0.49	0.1400	8.927	0.01120	**0.00350**	0.247

En ce point (r/z = 1.25), **la contrainte de Westergaard diminue lorsque μ_s augmente** : 0.01187 pour μ_s = 0 et 0.00350 kN/m² pour μ_s = 0.49. Sur l'axe de la charge, c'est l'inverse (Exemple 4) : le sens de l'effet dépend de la position du point.

Solution (2/3)

SOLUTION

1 $\mu_s = 0$

$$\eta^2 = \frac{1}{2} = 0.5000\ , \quad \eta = 0.7071\ , \quad \frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.7071(4)} = 1.7678$$

$$I_5 = \frac{1}{\pi}\left[4.1250\right]^{-3/2} = 0.3183 \times 0.11936 = 0.03799$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\left(0.03799\right) = \mathbf{0.01187}$$

Lorsque le coefficient de Poisson est nul, η = 1/√2 = 0.7071 ; en ce point, on trouve **$\Delta\sigma_z$ = 0.01187 kN/m²** (83.6 % de la valeur de Boussinesq).

Solution (3/3)

SOLUTION

2 $\mu_s = 0.4$

$$\eta^2 = \frac{1 - 0.8}{2 - 0.8} = 0.1667\,, \quad \eta = 0.4082\,, \quad \frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.4082(4)} = 3.0619$$

$$I_5 = 0.9549\,[10.3750]^{-3/2} = 0.9549 \times 0.02992 = 0.02858$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.02858) = \mathbf{0.00893}$$

Lorsque le coefficient de Poisson du sol entre les plaques augmente, η diminue ; r/(ηz) augmente et I_5 diminue en ce point : **0.01187 → 0.00893 kN/m²** (μ_s = 0 → 0.4).

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

EXEMPLE

Données

Charge	$P = 5$ **kN,** $\mu_s = 0.3$
Profondeur	$z = 4$ **m ; distance horizontale** $r = 0,\ 1,\ 2 \ldots 10$ **m**
Énoncé	**comment se comparent les contraintes de Westergaard et de Boussinesq sur l'axe de la charge ; pour quelle valeur de** μ_s **les deux solutions sont-elles égales ?**

À DÉTERMINER

$\Delta\sigma_z$ sous la charge (r = 0), la même valeur pour $\mu_s = 0$ et le **tableau du profil horizontal**.

Solution (1/3)

SOLUTION

1 r = 0 pour $\mu_s = 0.3$

$$I_5(0) = \frac{1}{2\pi\eta^2} = \frac{1}{2\pi\,(0.2857)} = 0.5570 \qquad \Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.5570) = \mathbf{0.1741}$$

$$\text{Boussinesq} : I_1(0) = \frac{3}{2\pi} = 0.4775 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_{z,B} = \frac{5}{16}\,(0.4775) = \mathbf{0.1492}$$

2 Pour $\mu_s = 0$, r = 0

$$I_5(0) = \frac{1}{\pi} = 0.3183 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.3183) = \mathbf{0.0995} \qquad \frac{\Delta\sigma_z}{\Delta\sigma_{z,B}} = \frac{1/\pi}{3/2\pi} = \frac{2}{3}$$

$\mu_s = 0$: Westergaard vaut **2/3** de Boussinesq (0.0995 et 0.1492) ; **$\mu_s = 0.3$** : elle lui est supérieure (0.1741) ; les deux solutions deviennent égales pour **$\mu_s = 0.25$**.

Solution (2/3)

SOLUTION

3 μ_s pour lequel les deux solutions sont égales sur l'axe

$$\frac{1}{2\pi\eta^2} = \frac{3}{2\pi} \Rightarrow \eta^2 = \frac{1}{3} = \frac{1-2\mu_s}{2-2\mu_s} \Rightarrow \mu_s = \mathbf{0.25}$$

4 Rapport sur l'axe : Westergaard / Boussinesq = $(1/2\pi\eta^2) / (3/2\pi) = 1/(3\eta^2)$

μ_s	0.00	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.45	0.49
η^2	0.5000	0.4444	0.3750	0.3333	0.2857	0.1667	0.0909	0.0196
$\Delta\sigma_z$ Westergaard / Boussinesq	0.667	0.750	0.889	1.000	1.167	2.000	3.667	17.000

Sur l'axe de la charge, le rapport croît rapidement avec μ_s : 2/3 pour $\mu_s = 0$, 1 pour $\mu_s = 0.25$, 3.67 pour $\mu_s = 0.45$; lorsque μ_s tend vers 0.5, $\eta \to 0$ et le rapport augmente sans limite.

Solution (3/3)

SOLUTION

r (m)	r/z	r/(ηz)	I_5	$\Delta\sigma_z$ Westergaard	$\Delta\sigma_z$ Boussinesq	Rapport W/B
0	0.00	0.000	0.5570	**0.17408**	0.14921	1.167
1	0.25	0.468	0.4140	**0.12938**	0.12822	1.009
2	0.50	0.935	0.2170	**0.06780**	0.08541	0.794
3	0.75	1.403	0.1089	**0.03403**	0.04889	0.696
4	1.00	1.871	0.0584	**0.01824**	0.02638	0.691
5	1.25	2.339	0.0339	**0.01058**	0.01419	0.745
6	1.50	2.806	0.0211	**0.00658**	0.00784	0.840
8	2.00	3.742	0.0096	**0.00300**	0.00267	1.123
10	2.50	4.677	0.0051	**0.00159**	0.00105	1.509

La contrainte de Westergaard est supérieure à celle de Boussinesq sur l'axe ; à partir de **r/z ≈ 0.26**, elle passe en dessous de celle de Boussinesq (r = 2 m : 0.06780 et 0.08541) et, à partir de **r/z ≈ 1.81** (r ≈ 7.2 m), elle repasse au-dessus (r = 10 m : 0.00159 et 0.00105) : à distance, la contrainte de Westergaard décroît plus lentement.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

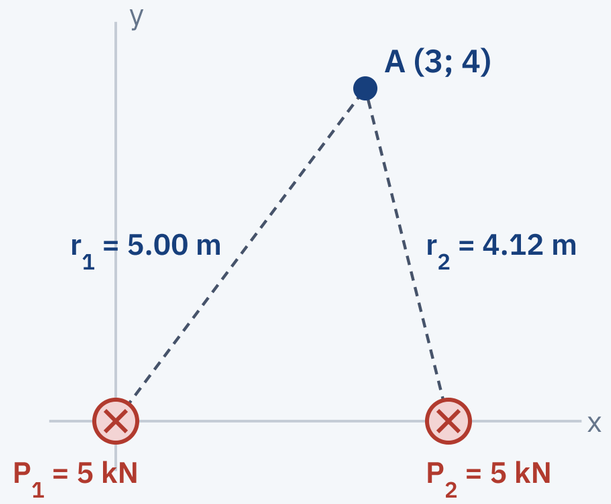
EXEMPLE

À DÉTERMINER

Valeurs de **r**, $\mathbf{I_5}$, $\mathbf{\Delta\sigma_z}$ pour chaque charge ; contrainte cumulée et somme de Boussinesq.

Données

Charges	$P_1 = 5$ **kN,** $(0;\ 0)$ **et** $P_2 = 5$ **kN,** $(4;\ 0)$
Point A	$x = 3$ **m,** $y = 4$ **m,** $z = 4$ **m**
Sol	$\mu_s = 0.3$



Solution (1/2)

SOLUTION

1 P_1 (0; 0)

$$r_1 = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5.000 \text{ m}$$

$$\frac{r_1}{\eta z} = \frac{5.000}{0.5345(4)} = 2.3385 \,, \quad I_5 = 0.03386$$

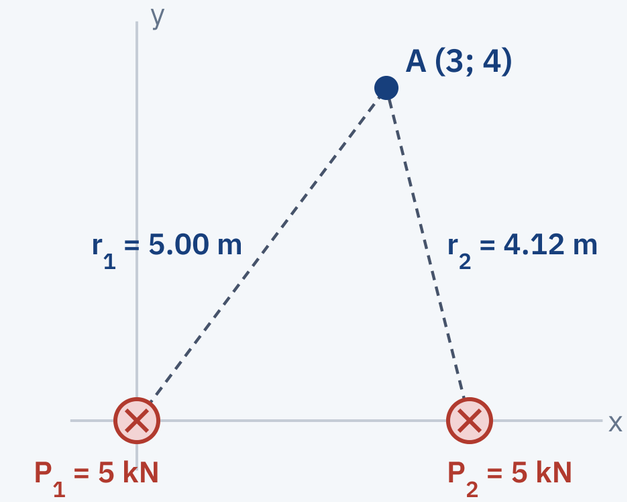
$$\Delta\sigma_{z(1)} = \frac{5}{16}\,(0.03386) = \mathbf{0.01058}\ \text{kN/m}^2$$

2 P_2 (4; 0)

$$r_2 = \sqrt{(3-4)^2 + 4^2} = 4.123 \text{ m}$$

$$\frac{r_2}{\eta z} = \frac{4.123}{0.5345(4)} = 1.9284 \,, \quad I_5 = 0.05434$$

$$\Delta\sigma_{z(2)} = \frac{5}{16}\,(0.05434) = \mathbf{0.01698}\ \text{kN/m}^2$$



La charge 2 est plus proche : **0.01698** ; la charge 1 : **0.01058 kN/m²**.

Solution (2/2)

SOLUTION

1 Les contraintes s'additionnent

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = 0.01058 + 0.01698 = \mathbf{0.02756}\ \mathrm{kN/m^2}$$

$$\Delta\sigma_{z,B} = 0.01419 + 0.02442 = 0.03862\ \mathrm{kN/m^2}$$

2 Profil de profondeur sous le même point (somme des deux charges)

z (m)	2	4	6	8	10	12	16	20
$\Delta\sigma_z$ Westergaard	0.0174	0.0276	0.0301	0.0282	0.0247	0.0210	0.0150	0.0108
$\Delta\sigma_z$ Boussinesq	0.0137	0.0386	0.0430	0.0371	0.0298	0.0237	0.0153	0.0105

Au point A (z = 4 m), les deux charges produisent ensemble **$\Delta\sigma_z$ = 0.02756 kN/m²** ; la somme de Boussinesq vaut 0.03862 kN/m². Le total est la somme des valeurs trouvées pour chaque charge prise isolément ; la valeur d'une charge unique (Exemple 1) est une partie de ce total.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Synthèse

Points à retenir

Milieu de Westergaard : de minces plaques horizontales rigides empêchent la déformation latérale ; $\mathbf{\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5}$, $I_5 = [1/(2\pi\eta^2)]\,[(r/\eta z)^2 + 1]^{-3/2}$, $\eta = \sqrt{[(1 - 2\mu_s)/(2 - 2\mu_s)]}$

Exemple (P = 5 kN, r = 5 m, z = 4 m, μ_s = 0.3) : η 0.5345 ; r/(ηz) 2.339 ; I_5 0.03386 → **$\Delta\sigma_z$ = 0.01058 kN/m²** ; Boussinesq 0.01419

Sur l'axe de la charge $I_5 = 1/(2\pi\eta^2)$: pour $\mu_s = 0$, $1/\pi = 0.3183$ (Boussinesq $3/2\pi = 0.4775$) ; la contrainte augmente avec μ_s, et pour $\mu_s = 0.5$ la solution perd sa validité

Profondeur : à profondeur intermédiaire, la contrainte de Westergaard est plus faible, à très grande profondeur les deux solutions se rapprochent ; la contrainte maximale se produit à $z = r/(\sqrt{2}\,\eta) = 6.61$ m (Boussinesq : $r\sqrt{1.5} = 6.12$ m)

Superposition : chaque charge est prise avec sa propre distance r et les contraintes sont additionnées (deux charges dans l'exemple : 0.02756 kN/m²)

Références bibliographiques

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning.

Westergaard, H.M. (1938). A problem of elasticity suggested by a problem in soil mechanics: soft material reinforced by numerous strong horizontal sheets. In Contributions to the Mechanics of Solids, Stephen Timoshenko 60th Anniversary Volume. Macmillan, New York, 268–277.

REMARQUE

Tous les exemples numériques ont été produits avec le moteur de calcul propre du module ; le module donne les mêmes valeurs. L'exemple initial du module est P = 5 kN, r = 5 m, μ_s = 0.3 et z = 4 m.

Calculs géotechniques en ligne

De la théorie à la pratique

Saisir dans GeoTerva les charges ponctuelles, le point A et la valeur de μ_s ; le module fournit ensemble η, le coefficient d'influence I_5, la contribution de chaque charge, la comparaison avec Boussinesq, le profil en profondeur, la solution pas à pas et le rapport.

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