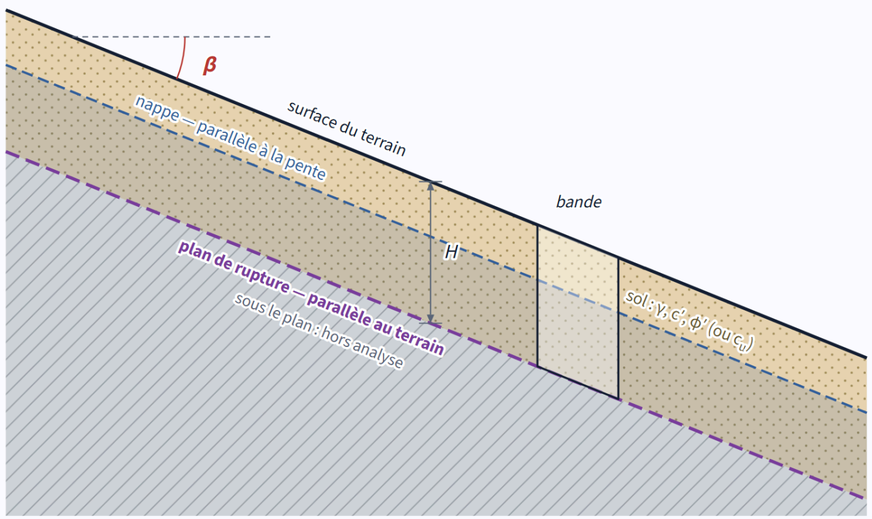
Présentation de cours de géotechnique · Stabilité des pentes

Stabilité de la pente infinie

Cours : modèle du talus infini (surface de rupture parallèle à la surface) ; contraintes, coefficient de sécurité, argile non drainée, eau, coefficient sismique critique, profondeur critique et angle requis ; un exemple de calcul pour chaque sujet.



Talus infini · Résistance au cisaillement et FS · Eau · séisme · Profondeur critique · angle requis · Résolution à la main

Introduction

Que verrons-nous dans ce cours ?

Pourquoi le modèle de **pente infinie** est utilisé pour les glissements superficiels : une mince couche de sol glissant sur un plan parallèle à la surface

Les contraintes sur un plan dues à une seule **bande** ($\sigma = \sigma_v \cos^2\beta$, $\tau = \sigma_v \sin\beta \cos\beta$) et la relation **$\tau/\sigma = \tan\beta$**

Coefficient de sécurité selon **Mohr–Coulomb** : $FS = c'/(\gamma H \cos^2\beta \tan\beta) + \tan\varphi'/\tan\beta$; profondeur critique H_{cr}, profondeur requise H_{req}, angle requis β_{req}

Argile non drainée (c_u, $\varphi = 0$) et effet de l'**eau** : nappe phréatique (écoulement parallèle au talus), rapport de pression interstitielle r_u

Le coefficient de sécurité en **séisme pseudo-statique** et le **coefficient sismique critique k_y** (accélération horizontale à partir de laquelle la masse commence à glisser)

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

Talus de l'exemple : $\beta = 15°$, plan de glissement à une profondeur verticale de 6 m ; sol $\gamma = 17.8$ kN/m³ (saturé 19.5), $c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$; au départ, pas de pression interstitielle. Les contraintes sont exprimées par unité d'aire du plan parallèle à la surface.

Une tranche du massif

THÉORIE

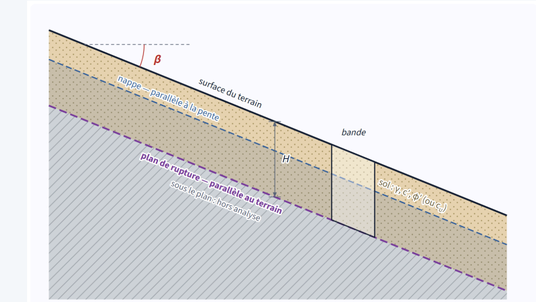
De nombreux glissements de talus sont superficiels : une mince couche de sol glisse le long d'une surface parallèle à la surface du terrain, à quelques mètres de profondeur ; le talus est si long que ses extrémités importent peu (talus de déblai ou de remblai après une période humide, talus naturel d'argile). La **pente infinie** est le modèle établi pour ce cas : le plan de glissement est partout dans le même état, de sorte qu'une tranche de la masse représente l'ensemble, et son équilibre tient en quelques lignes.

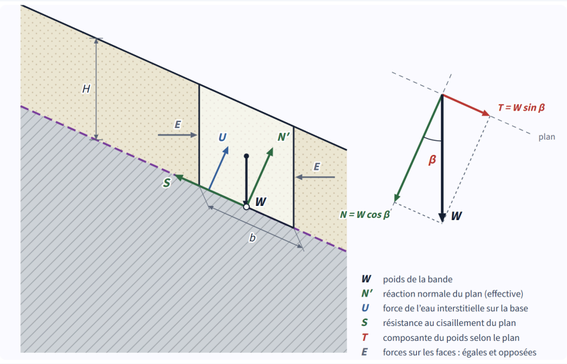
Tranche : longueur b le long du plan de glissement, largeur de 1 m le long du talus ; le plan se trouve à la profondeur verticale H sous la surface ; les faces latérales sont verticales et **se compensent** (le talus est infiniment long, le sol est partout le même).

$$W = \gamma H b \cos\beta \qquad N = W\cos\beta \quad T = W\sin\beta$$

$$\sigma = \frac{N}{b} = \sigma_v \cos^2\beta \qquad \tau = \frac{T}{b} = \sigma_v \sin\beta\cos\beta \qquad \frac{\tau}{\sigma} = \tan\beta$$

Dans une tranche dont les faces latérales sont supprimées, les contraintes sur le plan sont inclinées de l'angle du talus : τ/σ = tan β. S'il existe deux poids volumiques au-dessus du plan (nappe), $\sigma_v = \gamma(H - h_w) + \gamma_{sat} h_w$; les équations restent identiques.





Énoncé

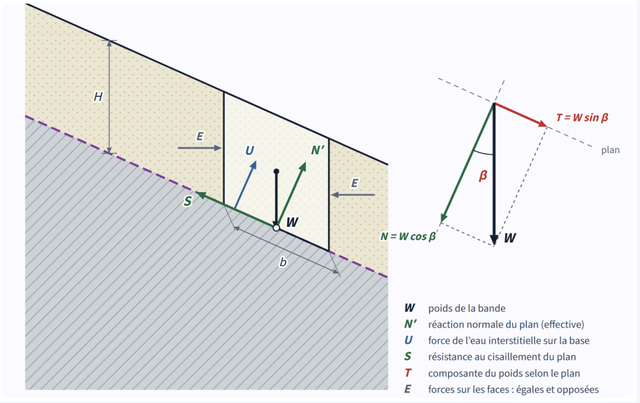
EXEMPLE

Données

Talus	$\beta = 15^\circ$ **; surface de rupture verticale à la profondeur** $H = 6$ **m**
Sol	$\gamma = 17.8$ **kN/m³ ; pas de pression interstitielle**

À DÉTERMINER

Contrainte verticale σ_V, contrainte normale σ et contrainte tangentielle τ sur le plan.



Solution

SOLUTION

1 Contrainte verticale

$$\sigma_v = \gamma H = 17.8 \times 6 = \mathbf{106.80}\ \mathrm{kPa}$$

2 Contrainte normale et tangentielle au plan

$$\sigma = \sigma_v \cos^2\beta = 106.80 \times 0.93301 = \mathbf{99.65}\ \mathrm{kPa}$$

$$\tau = \sigma_v \sin\beta\cos\beta = 106.80 \times 0.25000 = \mathbf{26.70}\ \mathrm{kPa} \qquad \frac{\tau}{\sigma} = 0.2679 = \tan 15^\circ\ \checkmark$$

Sur l'unité de surface du plan s'exercent une contrainte normale **σ = 99.65 kPa** et une contrainte tangentielle **τ = 26.70 kPa** ; le rapport τ/σ = 0.2679 = tan 15°, c'est-à-dire que la contrainte est inclinée comme le talus.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Mohr–Coulomb, solution analytique, profondeur critique

THÉORIE

Le sol situé sur le plan supporte la résistance au cisaillement τ_f : dans une analyse drainée, la résistance de Mohr–Coulomb dépend de la contrainte normale effective ($\sigma' = \sigma - u$). Le coefficient de sécurité est le rapport de la résistance à la contrainte : la cohésion et le frottement sont réduits du même coefficient jusqu'à ce que la tranche soit tout juste retenue :

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan\varphi' \qquad FS = \frac{\tau_f}{\tau} \qquad \sigma' = \sigma - u$$

En l'absence de pression interstitielle, $\sigma' = \sigma$ et une **solution en forme fermée** se déduit des contraintes :

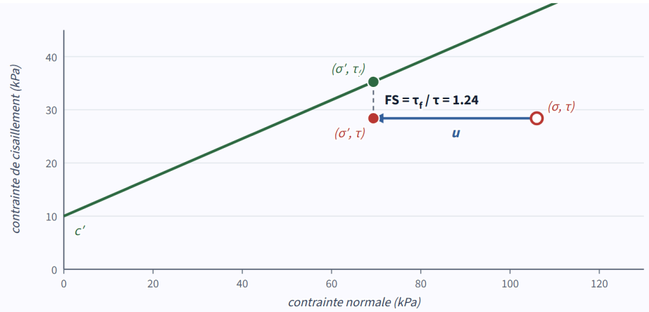
$$FS = \frac{c'}{\gamma H \cos^2\beta \, \tan\beta} + \frac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$$

Sol pulvérulent ($c' = 0$) : $FS = \tan\varphi'/\tan\beta$; si le talus est moins incliné que φ', il est stable à toute profondeur.

Sol cohérent : la cohésion retient le plan proche de la surface (FS élevé) ; avec la profondeur, FS diminue et se réduit au seul frottement.

Si $\beta > \varphi'$, il existe une **profondeur critique** où $FS = 1$ et une **profondeur requise** où $FS = FS_{req}$; pour un sol pulvérulent, β_{req} : $\tan\beta_{req} = \tan\varphi'/FS_{req}$:

$$H_{cr} = \frac{c'}{\gamma} \frac{1}{\cos^2\beta(\tan\beta - \tan\varphi')} \qquad H_{req} = \frac{c'}{\gamma \cos^2\beta \, (FS_{req} \tan\beta - \tan\varphi')}$$



Énoncé

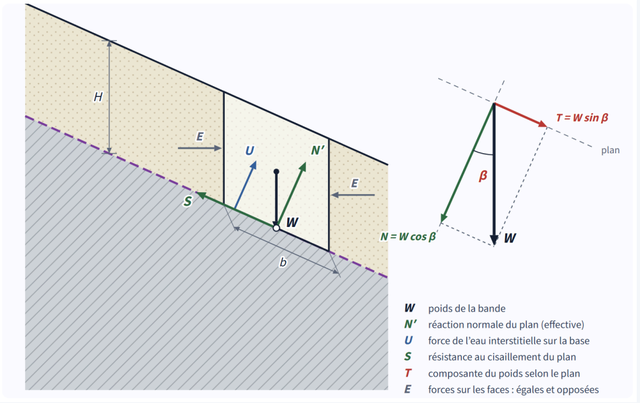
EXEMPLE

Données

Talus et sol	**Exemple 1 :** $\beta = 15°$, $H = 6$ **m,** $\gamma = 17.8$ **kN/m³ ;** $c' = 10$ **kPa,** $\varphi' = 20°$ **; pas de pression interstitielle**

À DÉTERMINER

Les τ_f et **FS** du plan ; vérification par solution en forme fermée.



Solution

SOLUTION

1 Résistance et coefficient de sécurité (avec les contraintes de l'Exemple 1)

$$\tau_f = c' + \sigma \tan \varphi' = 10 + 99.65 \times 0.36397 = \mathbf{46.27}\ \text{kPa}$$

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{46.27}{26.70} = \mathbf{1.733}$$

2 Solution analytique (vérification)

$$FS = \frac{10}{17.8(6)(0.93301)(0.26795)} + \frac{0.36397}{0.26795} = 0.3745 + 1.3584 = \mathbf{1.7329}$$

Le coefficient de sécurité vaut **1.733**. Le terme de cohésion vaut 0.3745 et le terme de frottement tan 20°/tan 15° = 1.3584 : la somme redonne le même nombre. Le talus (15°) étant moins incliné que l'angle de frottement (20°), le frottement suffit à lui seul à le maintenir ; la cohésion apporte une marge supplémentaire.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Énoncé

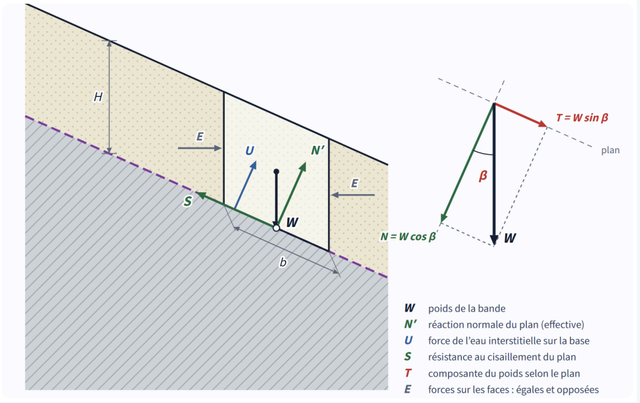
EXEMPLE

Données

Sol	**Sol de l'exemple 2 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\gamma = 17.8$ kN/m³)**
À déterminer	**coefficient de sécurité requis $FS_{req} = 2.0$; en outre, profondeur critique pour un talus plus raide $\beta = 25°$**

À DÉTERMINER

H_{req} (β = 15°) ; **β_{req}** (H = 6 m) ; **H_{cr}** pour β = 25°.



Solution

SOLUTION

1 Profondeur requise (β = 15° ; FS_{req} = 2)

$$H_{req} = \frac{c'}{\gamma \cos^2\beta(FS_{req}\tan\beta - \tan\varphi')} = \frac{10}{17.8(0.93301)(2(0.26795) - 0.36397)} = \mathbf{3.50}\ \text{m}$$

2 Angle requis (H = 6 m) : racine de l'équation FS(β) = 2 ; profondeur critique (β = 25°)

$$FS(\beta) = \frac{10}{106.8\cos^2\beta\tan\beta} + \frac{0.36397}{\tan\beta} = 2 \Rightarrow \beta_{req} = \mathbf{13.02}^\circ$$

$$H_{cr}(25^\circ) = \frac{10}{17.8(0.8214)(0.4663 - 0.3640)} = \mathbf{6.68}\ \text{m}$$

Pour FS = 2, le plan ne peut se trouver au plus qu'à **3.50 m** de profondeur ; à 6 m, pour la même sécurité, le talus ne doit pas être plus raide que **13.0°**. Comme β = 25° > φ′, il existe une profondeur critique pour laquelle FS tombe à 1 : **6.68 m**. Pour le talus existant (β < φ′), il n'y a pas de profondeur critique.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Contrainte totale : c_u et $\varphi = 0$

THÉORIE

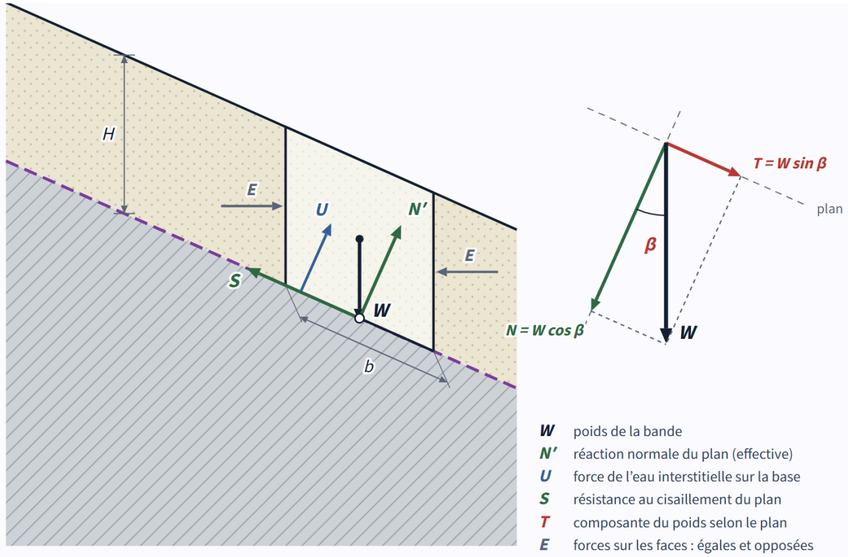
Une argile saturée chargée ou excavée trop rapidement pour que le drainage ait lieu (court terme d'une fouille dans une argile molle) se traite **en contraintes totales** avec c_u et $\varphi = 0$. La résistance ne dépend pas de la contrainte normale ; la pression interstitielle n'est pas introduite :

$$FS = \frac{c_u}{\tau} = \frac{c_u}{\gamma H \sin\beta \cos\beta} = \frac{2c_u}{\gamma H \sin 2\beta}$$

$\tau = (\gamma H/2)\sin 2\beta$ est maximal pour un talus à 45° ; FS est **inversement proportionnel** à la profondeur : un plan deux fois plus profond a un FS moitié moindre.

Une argile stable en non drainé à court terme peut ne plus l'être une fois drainée : le long terme relève d'une **analyse drainée** avec les pressions interstitielles de la nappe et les c', φ' drainés.

$H_{cr} = c_u/(\gamma \sin\beta \cos\beta)$; $H_{req} = c_u/(FS_{req}\, \gamma \sin\beta \cos\beta)$; $\sin 2\beta_{req} = 2c_u/(FS_{req}\, \gamma\, H)$.



Énoncé

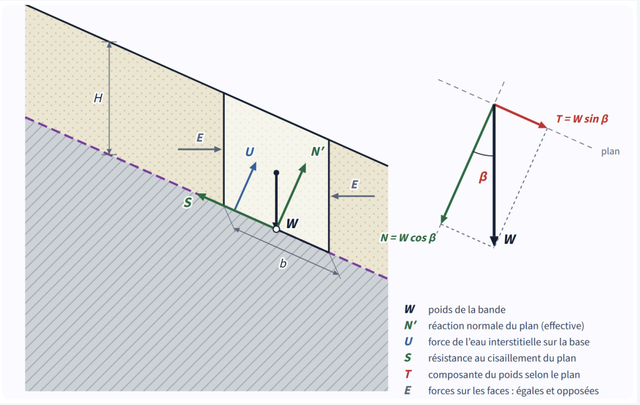
EXEMPLE

Données

Talus	$\beta = 15°$, $H = 6$ **m,** $\gamma = 17.8$ **kN/m³ ; argile non drainée** $c_u = 40$ **kPa** ($\varphi = 0$)
À déterminer	$FS_{req} = 2.0$

À DÉTERMINER

FS, H_{cr}, H_{req}, β_{req}.



Solution

SOLUTION

1 Coefficient de sécurité et profondeur critique

$$FS = \frac{c_u}{\gamma H \sin\beta \cos\beta} = \frac{40}{17.8(6)(0.2500)} = \frac{40}{26.70} = \mathbf{1.498}$$

$$H_{cr} = \frac{c_u}{\gamma \sin\beta \cos\beta} = \frac{40}{17.8(0.2500)} = \mathbf{8.99}\ \text{m}$$

2 Profondeur et angle requis ($FS_{req} = 2$)

$$H_{req} = \frac{c_u}{FS_{req}\,\gamma \sin\beta \cos\beta} = \frac{8.99}{2} = \mathbf{4.49}\ \text{m}$$

$$\sin 2\beta_{req} = \frac{2c_u}{FS_{req}\gamma H} = \frac{80}{2(106.8)} = 0.3745 \;\Rightarrow\; \beta_{req} = \mathbf{11.00}^\circ$$

Avec c_u = 40 kPa, **FS = 1.50** (1.73 à l'état drainé). Pour FS = 2, le talus ne peut dépasser **11.0°** ; H_{cr} = 8.99 m.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Infiltration parallèle au talus ; rapport de pression interstitielle r_u

THÉORIE

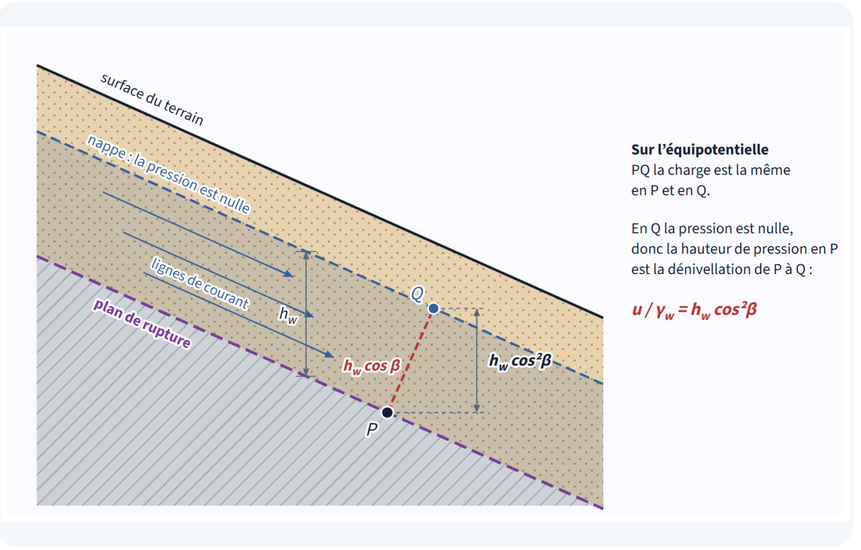
L'eau retire de la résistance en réduisant la contrainte effective par la pression interstitielle u. Si la nappe se trouve à la profondeur z_W sous la surface (verticale), le sol situé au-dessus a le poids volumique γ et celui situé au-dessous γ_{sat} ; la hauteur d'eau au-dessus du plan est $h_W = H - z_W$. Si l'eau s'écoule parallèlement à la surface, la ligne équipotentielle passant par le point P est perpendiculaire au talus ; la charge de pression est $h_W \cos^2\beta$:

$$u = \gamma_w h_w \cos^2\beta \qquad \sigma' = \sigma - u \qquad FS = \frac{c' + \sigma' \tan\varphi'}{\tau}$$

$$\text{eau à la surface : } FS = \frac{c'}{\gamma_{sat} H \cos^2\beta \tan\beta} + \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \frac{\tan\varphi'}{\tan\beta} \qquad r_u = \frac{u}{\gamma H} : \; FS = \frac{c'}{\gamma H \cos^2\beta \tan\beta} + \left(1 - \frac{r_u}{\cos^2\beta}\right) \frac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$$

Pour un sol pulvérulent avec la nappe affleurant à la surface, FS = (γ′/γ_{sat}) tan φ′/tan β : comme γ′/γ_{sat} ≈ ½, un talus de sable qui, à l'état sec, se tient près de φ′ exige, en présence d'infiltration, un talus dont la tangente est réduite de moitié.

Si la pression interstitielle provient d'un piézomètre ou d'un réseau d'écoulement, le rapport entre cette pression et le poids du sol est donné par r_u. Si σ′ ≤ 0 (l'eau soulève le sol au-dessus du plan), le frottement est annulé, seule la cohésion subsiste, et cela est signalé.



Énoncé

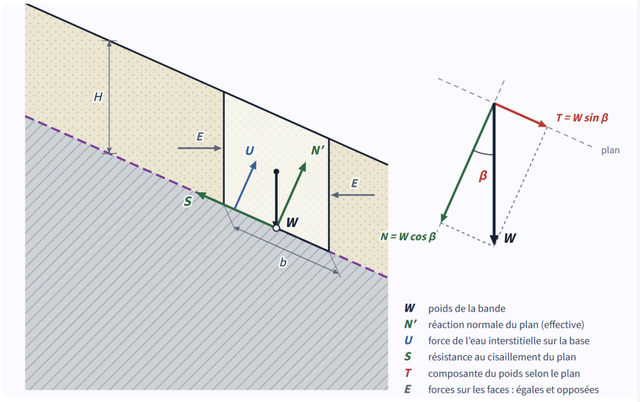
EXEMPLE

Données

Talus et sol	**Le talus de l'exemple 2 ;** $\gamma = 17.8$ **(sec),** $\gamma_{sat} = 19.5$ **kN/m³**
Conditions hydriques	**(a) nappe à** $z_w = 2$ **m, écoulement parallèle au talus ; (b) eau en surface (**$z_w = 0$**) ; (c)** $r_u = 0.25$

À DÉTERMINER

Dans chaque cas **u**, **σ′**, **τ_f** et **FS** ; comparaison avec le FS à sec.



Solution (1/2)

SOLUTION

1 (a) Nappe phréatique à 2 m : $h_w = 6 - 2 = 4$ m

$$\sigma_v = 17.8(2) + 19.5(4) = 113.6 \text{ kPa}$$

$$\sigma = \sigma_v \cos^2\beta = 105.99 \text{ kPa} \quad \tau = \sigma_v \sin\beta\cos\beta = 28.40 \text{ kPa}$$

$$u = \gamma_w h_w \cos^2\beta = 9.81(4)(0.9330) = 36.61 \text{ kPa} \quad \sigma' = \sigma - u = 69.38 \text{ kPa}$$

$$FS = \frac{10 + 69.38(0.36397)}{28.40} = \frac{35.25}{28.40} = \mathbf{1.241}$$

Avec la nappe à 2 m, FS passe de 1.73 (cas sec) à **1.24** : l'eau accroît à la fois le poids du sol (σ_V) et la pression interstitielle (36.6 kPa).

Solution (2/2)

SOLUTION

2 Synthèse des trois conditions hydrauliques (mêmes équations)

État	σ_v (kPa)	σ (kPa)	τ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	τ_f (kPa)	FS
Sec	106.8	99.65	26.70	0.00	99.65	46.27	**1.733**
(a) z_w = 2 m	113.6	105.99	28.40	36.61	69.38	35.25	**1.241**
(b) eau à la surface	117.0	109.16	29.25	54.92	54.25	29.74	**1.017**
(c) r_u = 0.25	106.8	99.65	26.70	26.70	72.95	36.55	**1.369**

Avec l'eau en surface, FS = **1.02**, presque à la limite ; pour r_u = 0.25, il vaut **1.37**. Un talus largement sûr à l'état sec n'a plus aucune marge à l'état humide : à côté du résultat, le module affiche ensemble le FS à l'état sec et le FS avec l'eau en surface.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Force horizontale et verticale ; coefficient d'écoulement k_y

THÉORIE

La secousse est remplacée par une accélération constante (une fraction de g) appliquée à la masse située au-dessus du plan. Outre son poids W, la tranche porte une force horizontale **k_hW** vers le bas du talus et une force verticale **k_vW** vers le haut ou vers le bas ; k_h et k_v sont les coefficients de l'ingénieur (le module ne les prend pas dans un règlement). Par unité de surface, W/A = $\sigma_v \cos\beta$:

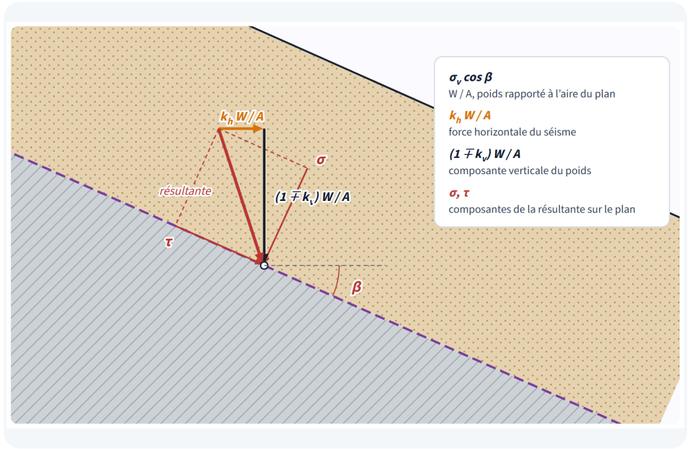
$$\sigma = \sigma_v \cos\beta\,[(1 \mp k_v)\cos\beta - k_h \sin\beta] \qquad \tau = \sigma_v \cos\beta\,[(1 \mp k_v)\sin\beta + k_h \cos\beta]$$

La pression interstitielle est la valeur statique (aucune secousse n'est ajoutée) : $\sigma' = \sigma - u$; $FS_{eq} = \tau_f/\tau$ avec les nouvelles valeurs de σ et τ. La force horizontale diminue la contrainte normale et augmente la contrainte de cisaillement.

Les deux sens de la force verticale sont essayés et le sens donnant le **FS le plus faible** est retenu : dans un sol frottant, c'est en général le sens ascendant (il allège la masse et réduit la contrainte normale) ; dans une argile en contraintes totales, c_u ne dépendant pas de la contrainte normale, c'est le sens descendant, qui augmente la contrainte de cisaillement.

Coefficient sismique critique k_y : coefficient horizontal qui donne $FS_{eq} = 1$. Sol sec, sans cohésion, $k_v = 0$: $k_y = \tan(\varphi' - \beta)$; dans les autres cas, k_y est trouvé en augmentant k_h à partir de zéro. Une secousse qui ne dépasse pas $k_y g$ ne met pas la masse en mouvement ; une secousse qui le dépasse l'y met (la distance parcourue relève de l'analyse du bloc glissant, absente du module).

$$k_y = \frac{\tan\varphi' - \tan\beta}{1 + \tan\varphi' \tan\beta} = \tan(\varphi' - \beta)$$



Énoncé

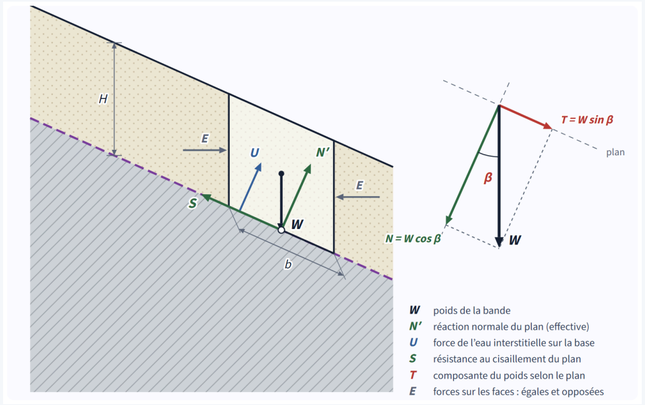
EXEMPLE

Données

Talus et sol	**Talus sec de l'exemple 2 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\beta = 15°$, $H = 6$ m)**
Séisme	**$k_h = 0.15$, $k_v = 0.05$ (deux directions sont essayées) ; également pour le sable sec $\varphi' = 32°$, $\beta = 25°$**

À DÉTERMINER

σ, **τ**, **FS_{eq}** (direction critique) ; tableau $FS(k_h)$ et **k_y** ; k_y dans un sable sec.



Solution (1/2)

SOLUTION

1 Direction critique : force verticale vers le haut (k_v = +0.05 allège)

$$\sigma = \sigma_v \cos\beta\,[0.95\cos\beta - 0.15\sin\beta] = 103.16\,[0.8788] = 90.66\ \text{kPa}$$

$$\tau = \sigma_v \cos\beta\,[0.95\sin\beta + 0.15\cos\beta] = 103.16\,[0.3908] = 40.31\ \text{kPa}$$

$$FS_{eq} = \frac{10 + 90.66(0.36397)}{40.31} = \frac{43.00}{40.31} = \mathbf{1.067} \qquad (k_v \text{ en dessous} : 1.085)$$

La force verticale vers le haut est déterminante : FS_{eq} = **1.067** (1.085 vers le bas).

Solution (2/2)

SOLUTION

2 FS(k_h) et coefficient de mobilisation (où FS = 1)

k_h	σ (kPa)	τ (kPa)	τ_f (kPa)	FS_{eq}
0.00	94.66	25.36	44.45	**1.753**
0.05	93.33	30.35	43.97	**1.449**
0.10	91.99	35.33	43.48	**1.231**
0.15	90.66	40.31	43.00	**1.067**
0.1746	90.00	42.76	42.76	**1.000**
0.20	89.32	45.29	42.51	**0.939**

Le séisme fait passer FS de 1.73 à **1.07** (la force verticale vers le haut est déterminante). **k_y = 0.175** : si k_h le dépasse, la masse commence à glisser. Dans le sable sec ($\varphi' = 32°$, $\beta = 25°$), $k_y = \tan 7° = 0.1228$.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

FS; H_{req}, β_{req}, H_{cr}

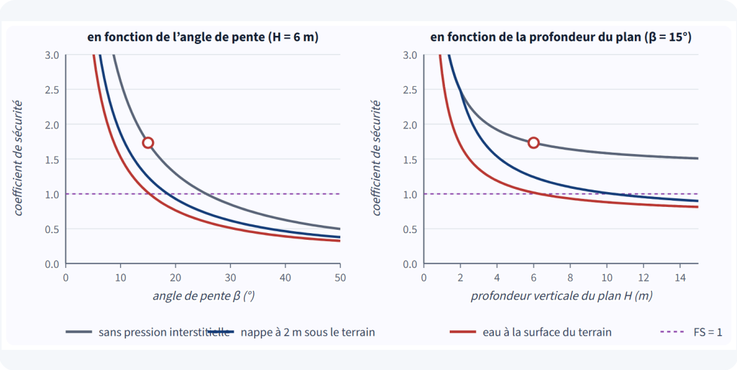
THÉORIE

FS en fonction de l'inclinaison : FS décroît régulièrement avec β ; l'écartement des courbes montre la part de la marge que l'eau fait perdre ; l'angle auquel la courbe coupe FS_{req} est β_{req}.

FS en fonction de la profondeur : la courbe du sol cohérent passe d'une valeur élevée en surface au niveau gouverné par le frottement ; l'intersection avec FS = 1 donne la profondeur critique. La nappe laisse une trace à la profondeur où l'eau atteint pour la première fois le plan ; au-dessus, la courbe du sol sec est suivie.

FS vis-à-vis de l'eau : il augmente à mesure que la nappe s'approfondit et diminue lorsque r_u croît ; il montre à quel point un talus drainé dépend de la pression interstitielle, difficile à connaître.

Dans le cas sismique, chaque graphique comporte une seconde ligne (orange) ; le cinquième graphique, FS en fonction de k_h, donne k_y à l'intersection avec FS = 1.



L'onglet Résultats donne, outre FS et la comparaison avec la valeur requise : **H_{req}** (première profondeur à laquelle FS tombe à FS_{req} ; « pas de limite » s'il n'y tombe pas), **β_{req}** (angle le plus raide, en partant d'un talus plat, pour lequel FS_{req} reste satisfait), **H_{cr}**, les deux extrêmes de l'eau (sans pression interstitielle / eau en surface) et, en situation sismique, FS_{eq}, k_y.

Énoncé

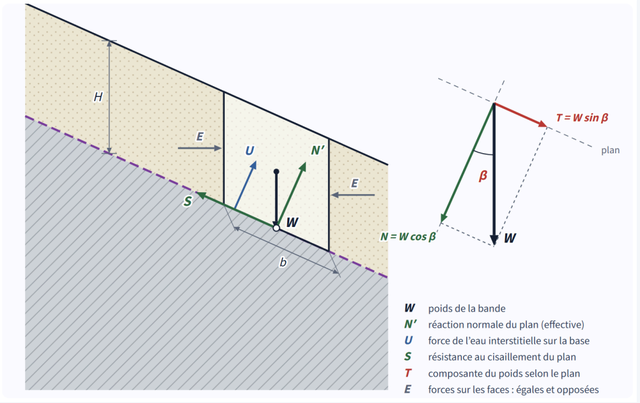
EXEMPLE

Données

Sol	**Le sol de l'exemple 2 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\gamma = 17.8$, $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³)**
Tableau	**Valeurs de FS pour $\beta = 10,\ 15,\ 20,\ 25,\ 30°$ et $H = 2,\ 4,\ 6,\ 8$ m, à sec et avec une nappe à $z_w = 2$ m (par solution analytique)**

À DÉTERMINER

Tableau $FS_{sec}(\beta, H)$; pour la nappe à H = 6 m ; à partir de quel angle FS < 1 ?



Solution

SOLUTION

1 FS = c′/(γH cos²β tan β) + tan φ′/tan β (cas sec) ; en présence de la nappe, à partir des contraintes (en gras : FS < 1)

β (°)	H = 2 m	H = 4 m	H = 6 m	H = 8 m	H = 6, eau z_w = 2 m
10	3.707	2.885	2.612	2.475	1.866
15	2.482	1.920	1.733	1.639	1.241
20	1.874	1.437	1.291	1.219	**0.928**
25	1.514	1.147	1.025	**0.964**	**0.741**
30	1.279	**0.955**	**0.847**	**0.793**	**0.616**

FS diminue régulièrement avec l'angle et diminue avec la profondeur (part de la cohésion). À partir de β = 20° et de H = 8 m, même un talus sec approche de la limite ; une nappe à z_w = 2 m, pour H = 6 m, fait passer FS **sous 1** dès 20° (0.62 à 30°). C'est pourquoi β_{req} et H_{req} sont recherchés.

Vérifier la solution dans GeoTerva ↗

Ce que le modèle suppose

THÉORIE

Modèle : talus infiniment long : terrain plan, surface de rupture parallèle à celui-ci à la profondeur verticale H ; les extrémités de la masse ne jouent aucun rôle ; les conditions sont partout les mêmes ; problème bidimensionnel, 1 m le long du talus.

Sol : un seul sol au-dessus du plan (résistance et poids volumique donnés) ; les couches, un sol variable le long du talus ou avec la profondeur et une résistance croissant avec la profondeur ne figurent pas dans ce modèle ; pour un contact avec une couche faible, les caractéristiques de cette couche peuvent être utilisées, ou bien le module Stabilité des pentes.

Eau : nappe s'écoulant parallèlement au talus ($u = \gamma_w h_w \cos^2\beta$) ou r_u ; la pression interstitielle n'est pas calculée à partir des précipitations ni de la perméabilité. **Résistance** : Mohr–Coulomb en contraintes effectives ou c_u ; si $\sigma' \leq 0$, le frottement est nul. Pas de résistance résiduelle, de rupture progressive ni d'effet des racines.

Séisme : uniquement pseudo-statique ; la secousse n'ajoute pas de pression interstitielle ; l'amplification, la durée, la pression interstitielle résiduelle d'un sol saturé lâche et le déplacement permanent ne sont pas analysés ; les coefficients relèvent du choix de l'ingénieur.

Non pris en compte : surcharge, fissure de traction, renforts, mur de pied. Le FS est la valeur pour un seul plan à une seule profondeur ; aucun plan plus faible non parallèle à la surface n'est recherché. Si le talus est court par rapport à la profondeur, ou si le sol ou l'eau varient le long du talus, les extrémités ont de l'importance : le module Stabilité des pentes est alors utilisé.

Synthèse

Points à retenir

Bande : $\sigma = \sigma_v \cos^2\beta$, $\tau = \sigma_v \sin\beta \cos\beta$, $\tau/\sigma = \tan\beta$ (dans l'exemple, $\sigma = 99.65$, $\tau = 26.70$ kPa)

FS = $(c' + \sigma' \tan\varphi')/\tau = c'/(\gamma H \cos^2\beta \tan\beta) + \tan\varphi'/\tan\beta =$ **1.733** ; $H_{req} = 3.50$ m ($FS_{req} = 2$), $\beta_{req} = 13.0°$; si $\beta > \varphi'$, H_{cr}

Argile non drainée : $FS = c_u/(\gamma H \sin\beta \cos\beta) = 1.50$; inversement proportionnel à la profondeur

Eau : $u = \gamma_w h_w \cos^2\beta$; FS 1.73 → 1.24 ($z_w = 2$ m) → 1.02 (en surface) ; $r_u = 0.25$ → 1.37

Séisme : $k_h W$ horizontal et $k_v W$ vertical ; la direction critique est retenue (vers le haut) ; FS 1.73 → 1.07 ; **$k_y = 0.175$** ; $\tan(\varphi' - \beta)$ pour un sol pulvérulent sec

Limite : plan unique, talus infini ; si les extrémités ou les couches sont déterminantes, on utilise le module Stabilité des pentes (tranches)

Références bibliographiques

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning, Boston. Chapitre 15, Slope Stability : la pente infinie, sections 15.2–15.4.

Skempton, A.W. and DeLory, F.A. (1957). Stability of natural slopes in London Clay. Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, 2, 378–381.

Bishop, A.W. and Morgenstern, N.R. (1960). Stability coefficients for earth slopes. Géotechnique, 10(4), 129–150.

Duncan, J.M., Wright, S.G. and Brandon, T.L. (2014). Soil Strength and Slope Stability, 2nd ed. Wiley, Hoboken.

Newmark, N.M. (1965). Effects of earthquakes on dams and embankments. Géotechnique, 15(2), 139–160.

REMARQUE

Tous les exemples numériques ont été produits avec le moteur de calcul propre au module ; le module donne les mêmes valeurs. L'exemple de calcul de la page du module porte aussi sur ce talus (β = 15°, H = 6 m, γ = 17.8, c′ = 10 kPa, φ′ = 20°).

GeoTerva

Calculs géotechniques en ligne

De la théorie à la pratique

Saisir dans GeoTerva l'angle de son propre talus, la profondeur du plan, la résistance du sol (drainée ou non drainée), l'eau et les coefficients sismiques ; le module fournit conjointement les contraintes, le coefficient de sécurité, la profondeur critique et la profondeur requise, l'angle requis, le coefficient sismique critique et les graphiques.

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

Ouvrir le module →

Page de théorie →

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