

Ouvrages Géotechniques

Examen de mi-semestre

Mercredi 19 Avril 2023

salle CM 0 13

Aucun documents autorisés à part le formulaire fourni. Calculatrice autorisée.

Aucune questions autorisées. Les notes seront ramenées de 1 à 6. Note de suffisance 30/50pts.

1 Questions à choix multiples [20 pts]

[2 pts / questions - 10 questions. point négatifs. Certaines questions ont plusieurs réponses correctes : dans ce cas, cochez toutes les bonnes réponses pour avoir tous les points]

2 Fondation superficielle - ELS [14 pts]

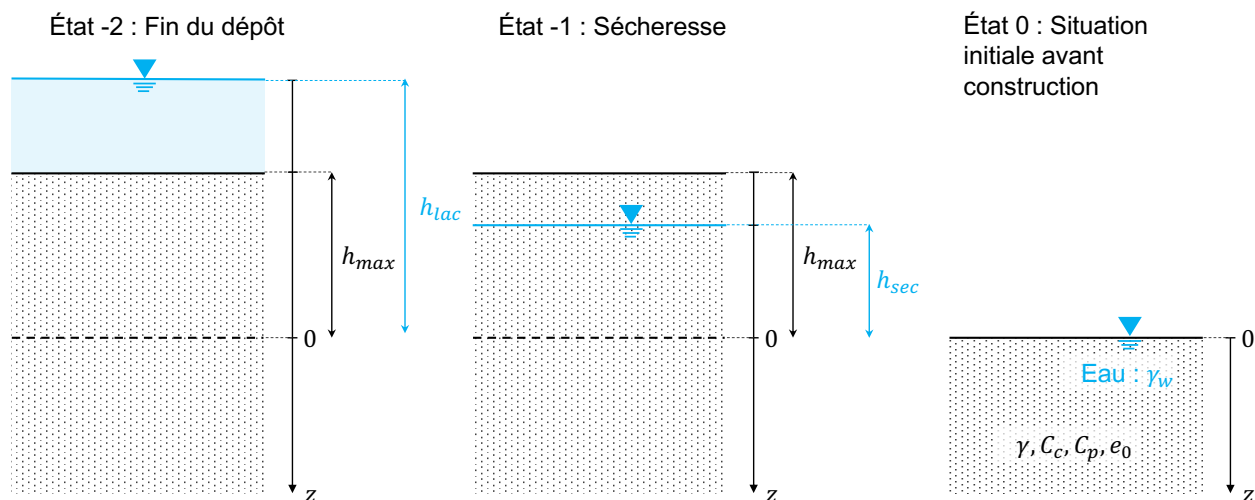


FIGURE 1 – États -2, -1 et 0 : respectivement à la fin du dépôt du sol, lors d'une période de sécheresse et enfin à état initial avant la construction (après érosion du sol et baisse additionnelle de la nappe).

On souhaite construire un bâtiment sur un sol (limons argileux). L'axe vertical z est dirigé vers le bas depuis la surface. Le sol a les propriétés suivantes :

- Poids volumique saturé γ , poids volumique sec γ_d en N/m^3 . On prendra $\gamma_d \approx \gamma$.
- Indice des vides e_0 . Indices de compression et de C_c et de recompression C_p .

Le sol est sur-consolidé. La nappe phréatique affleure à la surface à l'état 0 avant la construction, et l'eau a un poids volumique γ_w . Toutes les contraintes auxquelles on se réfère sont les contraintes verticales.

1. Écrivez les contraintes initiales effectives $\sigma'_{v,o}$ à l'état 0 (c'est-à-dire avant la construction) en fonction de la profondeur z . (2 points)
2. On va maintenant décrire le trajet de chargement qui a induit la pré-consolidation du sol, tel qu'illustré sur la figure 1. Le sol s'est déposé dans un lac de profondeur h_{lac} au-dessus de la cote $z = 0$ actuelle. À son maximum la surface du sol atteignit une épaisseur h_{max} au dessus de $z = 0$, correspondant à l'état -2. Le lac s'est ensuite asséché et le niveau de la nappe atteignait h_{sec} au dessus de $z = 0$. Cela correspond à l'état -1. Enfin après, une érosion s'est produite pour arriver à l'état 0.
- (a) Exprimez la contrainte effective verticale en fonction de z (pour $z \geq 0$)
 - i. à l'état -2 (1 point)
 - ii. à l'état -1 (1 point)
- (b) En déduire (en justifiant) la contrainte de préconsolidation en fonction de $z \geq 0$ (à savoir la contrainte effective verticale maximale que le sol a vu dans son histoire à l'état 0). (2 points)
3. On s'intéresse maintenant au changement de contraintes dû à la construction du bâtiment schématisé en figure 2. Le bâtiment sera fondé superficiellement sur une base souple rectangulaire $L_1 \times L_2$ reprenant une charge répartie q . Écrivez analytiquement la contrainte effective verticale finale après la construction en fonction de la profondeur z sous le milieu du bâtiment (Point m sur le schéma). (4 points)
4. On veut éviter des tassements trop importants. Obtenez - en fonction des paramètres du problème - la valeur maximale de la surcharge q_{max} (à l'aplomb du point m) pour laquelle le sol restera dans le domaine des déformations calculées avec le module de recompression C_p . (4 points)

1. État après la construction

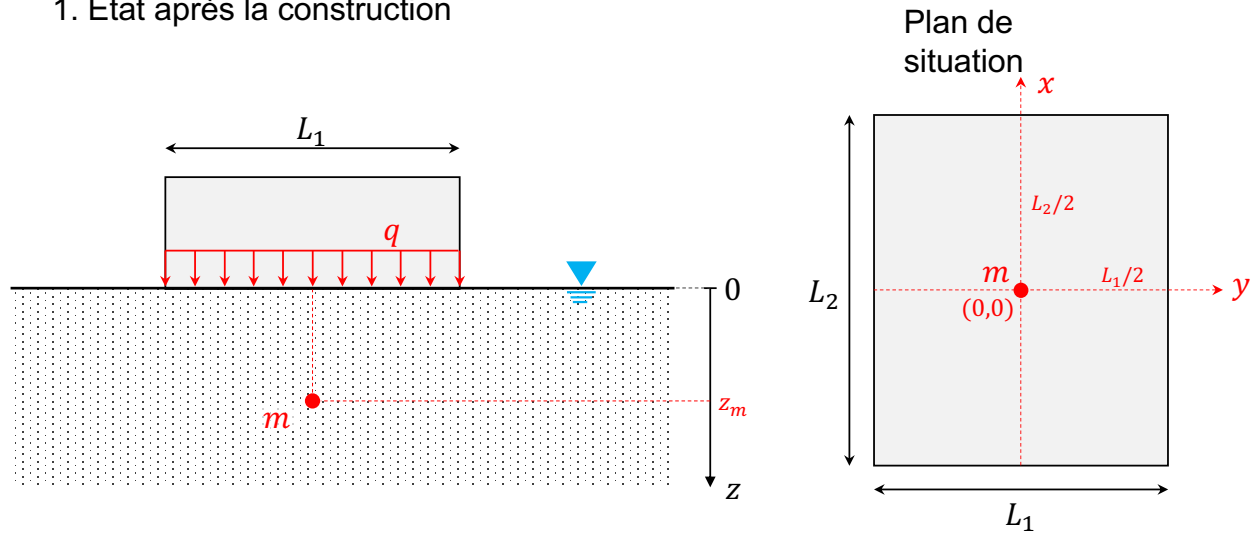


FIGURE 2 – État 1 avec la construction du bâtiment. À gauche la coupe vertical et à droite le plan de situation.

3 Analyse limite cinématique [16 pts]

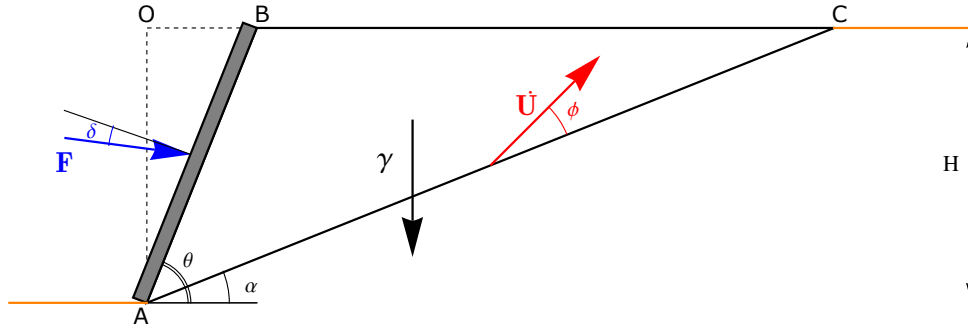


FIGURE 3 – Mécanisme de ruine liée à la « découpe » d'un sol (cohésion c , angle de frottement ϕ et poids volume γ) par un outil. Le bloc triangulaire ABC se déplace comme un bloc rigide avec la vitesse $\dot{\mathbf{U}}$. La résultante de la force exercée sur l'outil \mathbf{F} fait un angle δ avec la normale à l'outil.

On s'intéresse à la « découpe » d'un sol par un outil rigide incliné d'un angle θ par rapport à l'horizontal (θ est fixé et reste constant). Le sol a un poids volume γ [kN/m³], et sa rupture est modélisée par un critère plastique associé de Mohr-Coulomb : avec une cohésion c [kN/m²] et un angle de frottement ϕ [-]. On note les vecteurs en gras : e.g. \mathbf{F} .

On envisage un mécanisme de ruine cinématique dessiné en Figure 3. Le sol se rompt le long d'une bande de cisaillement droite AC, et le triangle ABC se déplace donc comme un bloc rigide avec un vecteur vitesse $\dot{\mathbf{U}}$ incliné d'un angle ϕ par rapport à la bande de glissement (c.f. Figure 3 pour notation). Dans cet exercice, on se propose d'obtenir une estimation de la norme de la force résultante $\|\mathbf{F}\|$ des tractions appliquées sur le sol par l'outil rigide par une approche cinématique. La résultante \mathbf{F} est inclinée d'un angle δ par rapport à la normale de l'outil.

1. Justifier pourquoi pour un sol de Mohr-Coulomb avec écoulement plastique associé, la vitesse du bloc rigide fait un angle ϕ par rapport à la bande de cisaillement (2 Points).
2. Calculer la puissance dissipée (puissance des efforts internes dans le sol) le long de la bande de cisaillement AC dans ce mouvement de ruine :

$$\mathcal{P}_{diss}(\dot{\mathbf{U}}) = \int_{AC} T_i \dot{U}_i dL$$

en fonction de la hauteur H , des angles θ, δ, ϕ et α et des paramètres du sol (2 Points). On rappelle que dans la notation de sommation sur les indices répétés, e.g. $a_i b_i$ correspond au produit vectoriel $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}$. On rappelle également que pour un écoulement associé de Mohr-Coulomb, la puissance dissipée unitaire est $T_i \dot{U}_i = c \cos \phi \|\dot{\mathbf{U}}\|$ (+5 points bonus si vous le démontrez).

3. Calculer la puissance des efforts extérieurs associé au poids du sol (force de volume γ)

$$\mathcal{P}_{ext, \gamma}(\dot{\mathbf{U}}) = \int_{ABC} \gamma_i \dot{U}_i dS$$

en fonction de la hauteur H , des angles θ, δ, ϕ et α . (2 Points)

4. Calculer la puissance des efforts extérieurs associé aux efforts appliqué sur l'outil le long de AB $\mathcal{P}_{ext, F}$ en fonction de la hauteur H , des angles θ, δ, ϕ et α . Exprimer cette puissance directement en fonction de la résultante \mathbf{F} de ces efforts le long de AB. (2 Points)
5. Appliquer le principe des puissances virtuelles pour obtenir une expression de $\|\mathbf{F}\|$ en fonction de la hauteur H , des angles θ, δ, ϕ et α ainsi que des paramètres du sol c, ϕ et γ . (2 Points)
6. Est ce que cette valeur est une borne supérieure ou inférieure à la vraie charge de ruine ? (2 Points)
7. Par rapport à quel paramètre conviendrait il d'optimiser (minimiser ou maximiser ?) afin d'obtenir la meilleure borne possible ? (2 Points)

8. Dans le cas de hauteur de coupe faible H , est-il possible de faire une simplification ? justifiez en termes d'ordre de grandeur par rapport à quoi H doit être suffisamment petit pour une telle simplification. (2 Points)