

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2017

Toute documentation permise
Calculatrices : modèles autorisés seulement
Durée de l'examen : 3 heures

14-AE-A1 PHYSIQUE ET MÉCANIQUE DES SOLS

L'examen porte sur l'aménagement d'un barrage à des fins d'irrigation agricole et comporte les 4 parties indépendantes suivantes :

- Partie I : Propriétés des sols et classification
- Partie II : Écoulement des eaux dans les sols
- Partie III : Compactage
- Partie IV : Résistance au cisaillement

Les 4 parties possèdent la même pondération et peuvent être traitées dans l'ordre souhaité.

En cas d'erreur ou d'incohérence dans les données de l'énoncé, les candidats sont invités à **inscrire clairement leurs hypothèses** et à poursuivre la résolution de l'examen.

L'examen comporte 5 pages incluant celle-ci.

AMÉNAGEMENT D'UN BARRAGE À DES FINS D'IRRIGATION AGRICOLE

On envisage la construction d'un barrage à des fins d'irrigation agricole au droit d'un site dont le sous-sol est composé d'une couche de 8 m de sable fin reposant sur une couche de 2 m d'argile. Le roc, non fracturé, se situe à une profondeur de 10 m.

PARTIE I : MINÉRALOGIE ET CLASSIFICATION DES SOLS

- 1.1 Citez les 4 principales familles d'argiles et classez ces argiles par ordre de susceptibilité au gonflement. Expliquez les raisons des différences de comportement. (2 pts)
- 1.2 Des résultats d'un essai à la coupelle de Casagrande sur un échantillon d'argile prélevé à 9 m de profondeur sont fournis dans le Tableau 1. Sachant que sa limite de plasticité est $w_p=15\%$, donnez sa classification USCS. (1 pt)

Tableau 1 : Résultats d'un essai à la coupelle de Casagrande

w (%)	Nbr coups
42,0	17
41,0	21
40,0	25
39,0	30
38,0	34

- 1.3 Deux échantillons de sable ont été prélevés à deux endroits du site et les résultats d'analyse granulométrique sont fournis sur la Figure 1. Classez les deux échantillons selon le système USCS et discutez de la fiabilité de la classification. (2 pts)

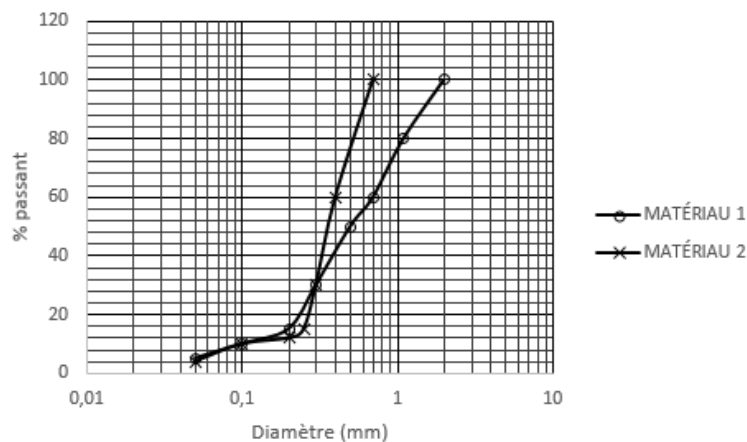


Figure 1 : Courbes granulométriques de 2 échantillons de sable

PARTIE II : ÉCOULEMENT DES EAUX DANS LES SOLS

Le projet de barrage est représenté sur la Figure 2. Celui-ci est fondé sur la couche de sable ($e = 0,4$, $\rho_s = 2,68 \text{ Mg/m}^3$ et $k = 0,5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$) et on supposera que la couche d'argile est imperméable. Construit en béton, le barrage est encastré d'un mètre dans le sol. À l'aide du schéma d'écoulement de la Figure 3, on vous demande de calculer :

- 2.1 le gradient de sortie maximum, (1 pt)
- 2.2 le débit par mètre courant (perpendiculaire au plan), (1 pt)
- 2.3 la contrainte effective verticale au point A, (1 pt)
- 2.4 la pression interstitielle au point B, (1 pt)
- 2.5 le coefficient de sécurité vis-à-vis de la boulance. (1 pt)

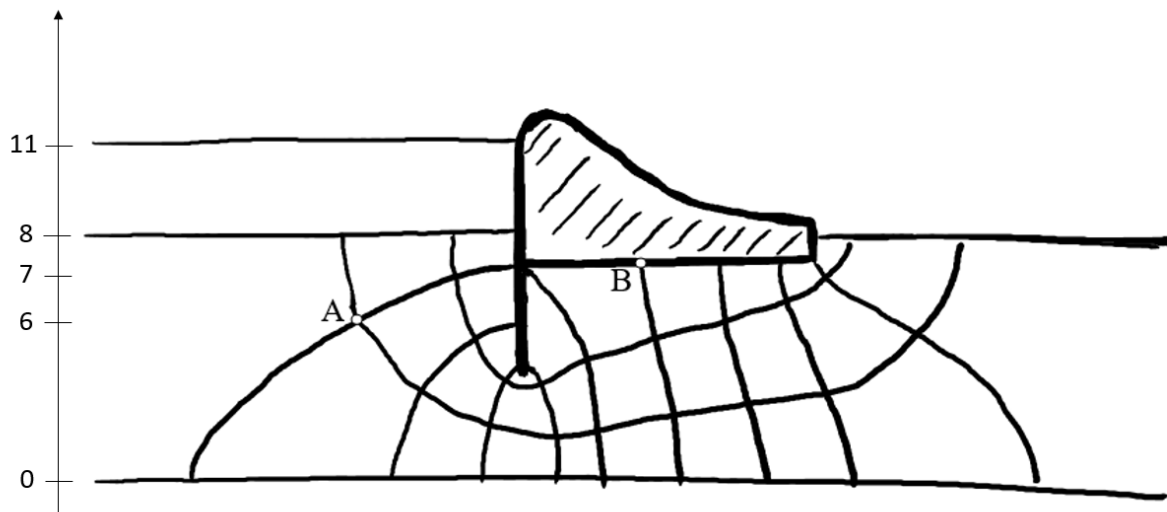


Figure 2 : Schéma d'écoulement sous le barrage (cotes indiquées en mètres)

PARTIE III : COMPACTAGE

Dans le cadre de l'aménagement de routes d'accès non revêtues au barrage, il est prévu d'utiliser un matériau granulaire dont les résultats d'un essai Proctor Normal sont fournis dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Résultat d'un essai Proctor Normal sur le matériau granulaire

w (%)	ρ_d (Mg/m ³)
9	1,82
10,5	1,88
12,7	1,9
14,5	1,87
16,7	1,77

- 3.1 Tracez la courbe Proctor Normal et déterminez la masse volumique sèche et la teneur en eau à l'optimum. (1 pt)
- 3.2 Sachant que la teneur en eau naturelle du matériau d'apport est de 12%, quelle quantité d'eau devra-t-on ajouter ou enlever par kg de sol pour atteindre l'optimum lors du compactage? (1 pt)
- 3.3 En considérant de plus que le matériau sera compacté à 95% de l'optimum Proctor Normal, que son indice des vides augmente de 30% lors de son chargement (foisonnement), que sa porosité en place est de 0,3 et que la densité relative des grains solides est de 2,65, déterminez le nombre de tournées de camions d'une capacité de 8 m³ nécessaires pour la réalisation d'une route de 500 m de long, 6 m de large et 1 m d'épaisseur. (2 pts)
- 3.4 En considérant qu'en période de hautes eaux, la nappe arrive au bas de la couche de matériau compacté constituant la route, calculez la hauteur d'ascension capillaire sachant que le diamètre caractéristique d_{10} du matériau est de 0,1 mm. Le choix de ce matériau est-il judicieux si l'épaisseur de la route fait 1m? (1 pt)

PARTIE IV : RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT

Au voisinage du barrage, la couche d'argile devient affleurante et plusieurs essais de laboratoire ont été réalisés sur des échantillons prélevés à quelques mètres de profondeur pour en déterminer les performances mécaniques. On dispose ainsi de la valeur de résistance à la compression simple $UCS = 120 \text{ kPa}$ et des résultats de deux essais triaxiaux:

- Essai CD : $\sigma'_3 = 40 \text{ kPa}$ et $\sigma'_1 = 140 \text{ kPa}$ à la rupture
- Essai CU : $\sigma_3 = 240 \text{ kPa}$, $\sigma_1 = 640 \text{ kPa}$ et $u = 80 \text{ kPa}$ à la rupture.

- 4.1 Déterminer les paramètres de résistance au cisaillement à court et à long terme de l'argile. *(3 pts)*
- 4.2 À la lumière de ces résultats, précisez s'il s'agit d'une argile normalement consolidée ou surconsolidée et discutez de l'influence de l'état de consolidation sur les paramètres de résistance des argiles. *(1 pt)*
- 4.3 Finalement, discutez de la fiabilité des paramètres basés sur un essai CD et un essai CU uniquement. *(1 pt)*