

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 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 des aménagements routiers et hydro-agricoles sur une ferme et comporte les 4 parties indépendantes suivantes :

- Partie I : Caractérisation et classification des sols
- Partie II : Écoulement des eaux dans les sols
- Partie III : Minéralogie des argiles
- Partie IV : Résistance des sols

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.

## AMÉNAGEMENTS ROUTIERS ET HYDRO-AGRIQUES SUR UNE FERME

Dans le cadre de la mise en opération d'un site agricole, votre firme est mandatée pour faire différents aménagements, notamment la mise en place de tranchées drainantes et des routes d'accès. Il est également prévu de réaliser un barrage à des fins d'irrigation au voisinage du site.

### PARTIE I : CARACTÉRISATION ET CLASSIFICATION DES SOLS

Afin de dimensionner les tranchées drainantes, un échantillon de sol a été prélevé au droit du site et caractérisé. Il s'agit d'un sol sablonneux humide de 773 g d'un volume de 405 cm<sup>3</sup>. Après séchage, la masse de l'échantillon n'est plus que de 697 g. Une fraction de ce sol sec est prise pour réaliser un essai au pycnomètre et déterminer la masse volumique des grains solides. Les résultats de l'essai au pycnomètre, réalisé à 20°C, sont fournis dans le Tableau 1.

**Tableau 1 : Résultats d'un essai au pycnomètre**

Masse du récipient ( $M_R$ )	318 g
Masse du récipient + sol sec ( $M_{R+S}$ )	438 g
Masse du pycnomètre + sol + eau ( $M_{P+S+E}$ )	1 526 g
Masse du pycnomètre + eau ( $M_{P+E}$ )	1 449 g
Température du mélange (T)	20°C

1.1 Déterminez la masse volumique des grains solides  $\rho_s$  du sol sablonneux (1pt).

Pour la suite de cette partie, on assumera que  $\rho_s = 2,79 \text{ g/cm}^3$ .

1.2 Déterminez :

- a) la masse volumique du sol humide (0.5 pt),
- b) la masse volumique du sol sec (0.5 pt),
- c) la teneur en eau (0.5 pt),
- d) l'indice des vides et la porosité (0.5 pt),
- e) le degré de saturation (0.5 pt),
- f) la masse volumique et la teneur en eau correspondants à l'état saturé du sol (0.5 pt).

1.3 Les résultats d'un essai granulométrique par tamisage réalisés sur un échantillon de 2 kg de sol sont donnés dans le Tableau 2. Tracez la courbe granulométrique du sol sablonneux et donnez sa classification dans le système USCS (2 pts).

**Tableau 2 : Résultats d'un essai granulométrique**

Tamis (mm)	Refus (g)
100	78
80	43
63	89,6
50	115,3
40	423,5
31,5	72
25	438,9
20	702,1
16	1,7
12,5	3,1
10	5,8
8	8
5	10,4
4	2
3,15	0,3
2,5	2,5
2	1,1
1,6	2,7
1,25	0

Finalement, un essai de perméabilité à charge constante est réalisé sur le sol. Un échantillon de sol de 15 cm de hauteur et de 5.5 cm de diamètre est placé dans un perméamètre à charge constante. L'eau percole à travers l'échantillon sous une différence de charge de 40 cm et, en 6 secondes, on recueille 40 g d'eau.

1.4 Déterminez la conductivité hydraulique du sol sablonneux. (1 pt)

## **PARTIE II : ÉCOULEMENT DES EAUX DANS LES SOLS**

Au voisinage du site agricole se trouve un barrage exploité à des fins d'irrigation. Les dimensions du barrage et les niveaux d'eau sont représentés sur la Figure 1. On supposera que la conductivité hydraulique du sol sous le barrage,  $k$ , est de  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s, que l'indice des vides  $e$  est de 0,4 et que la masse volumique des grains solides  $\rho_s$  est de  $2,68 \text{ Mg/m}^3$ . Le réseau d'écoulement sous le barrage est fourni sur la Figure 2. Déterminez :

2.1 le gradient de sortie maximum, (1 pt)

2.2 le coefficient de sécurité vis-à-vis de la boulance. (1 pt)

2.3 le débit par mètre de barrage perpendiculaire au plan, (1 pt)

2.4 la force verticale exercée par l'eau passant sous le barrage, (2 pts)



Figure 1 : Géométrie du barrage

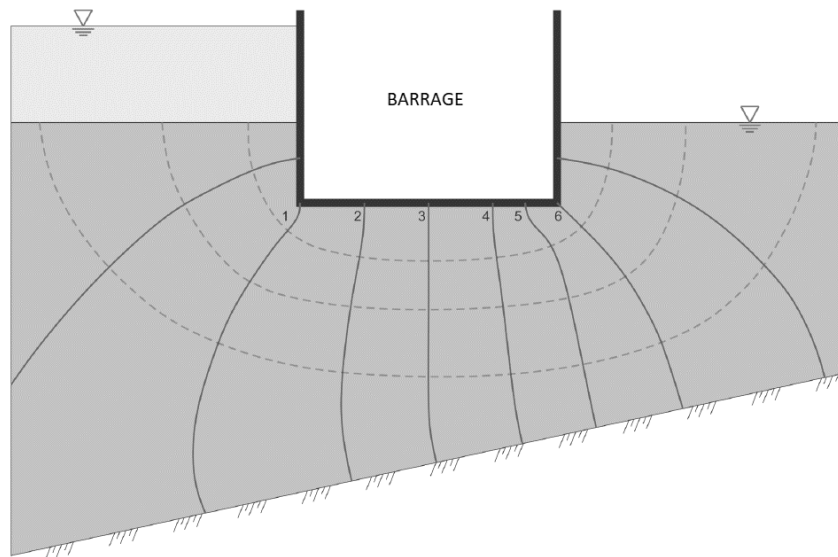


Figure 2 : Réseau d'écoulement sous le barrage

### **PARTIE III : MINÉRALOGIE DES ARGILES**

Dans le cadre de l'aménagement de routes d'accès à l'exploitation agricole, il sera nécessaire de traverser des zones argileuses.

- 3.1 Précisez les deux cristaux formant chacun des deux feuillets de base qui entrent dans la constitution des minéraux argileux. Illustrez chacun de ces deux minéraux sur un croquis et donnez la représentation schématique des feuillets de base. (1 pt)
- 3.2 Donnez les valeurs moyennes de l'épaisseur, de la surface spécifique et du coefficient d'activité des minéraux argileux les plus communs : kaolinite, chlorite, illite, montmorillonite ? (1 pt)
- 3.3 Illustrez la superposition des plaquettes formant la montmorillonite et indiquez les forces qui les unissent. Indiquez la susceptibilité au gonflement de la montmorillonite ? (1 pt)

### **PARTIE IV : RÉSISTANCE DES SOLS**

Afin de dimensionner les fondations routières qui seront construites sur le site, des essais triaxiaux ont été réalisés sur plusieurs échantillons d'argile et ont permis de démontrer que l'argile est normalement consolidée et que son angle de frottement interne,  $\phi'$ , est de  $30^\circ$ .

- 4.1 Un essai triaxial additionnel, consolidé non-drainé (CU) avec une contrainte de confinement  $\sigma_3=18$  kPa, est réalisé et la contrainte axiale à la rupture  $\sigma_1$  est de 36 kPa. Déterminez la pression interstitielle à la rupture. En déduire le coefficient  $A_f$  de Skempton à la rupture. (2 pts)
- 4.2 Quelle aurait été la contrainte axiale  $\sigma'_1$  à la rupture si l'essai triaxial de la question précédente avait été drainé (Essai CD) ? (2 pts)
- 4.3 Finalement, discutez de l'influence de la vitesse de cisaillement et des conditions aux limites sur les échantillons dans la réalisation d'essais drainés. (1 pt)