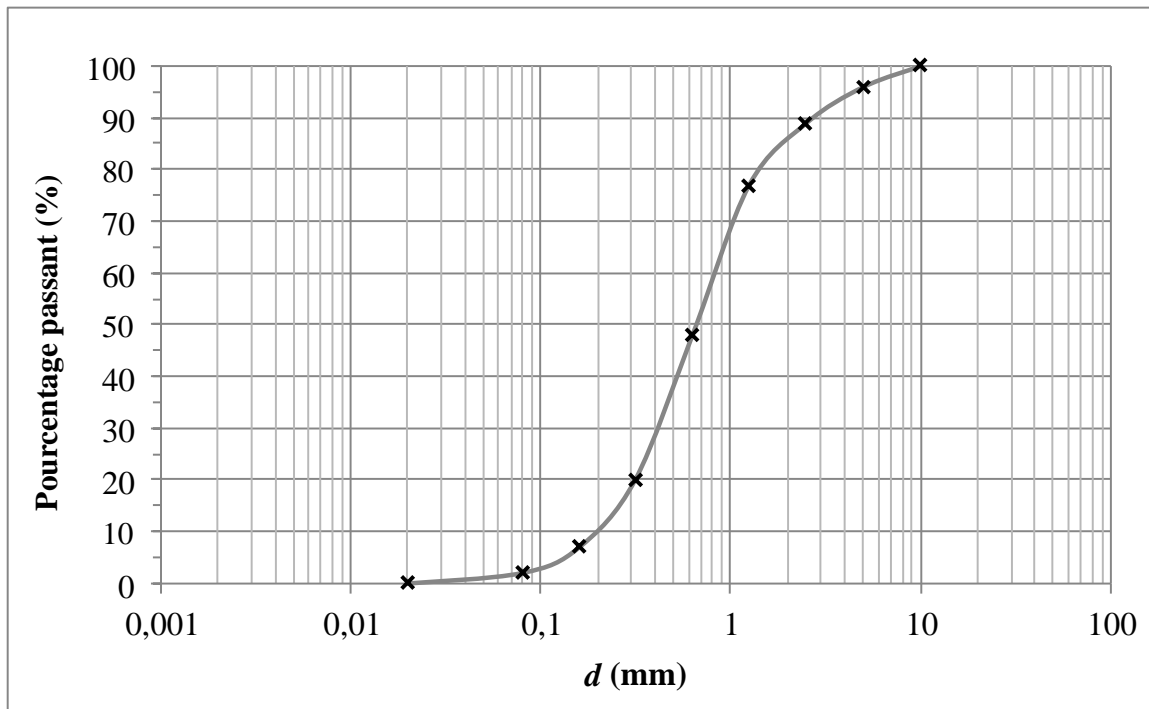


Examen à livre ouvert  
Calculatrices : seulement les modèles autorisés  
Durée : 3 heures

14-EN-A3 GÉNIE GÉOTECHNIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

**Question 1 (15 points)**

En utilisant le système de classification unifié de l'ASTM (USCS) ou le système de classification de la norme MTQ 1101, déterminez la classification du sol dont la courbe granulométrique est présentée à la figure 1. Supposez que les fines ne sont pas plastiques.



**Figure 1 : Courbe granulométrique de la question 1.**

## Question 2 (20 points)

La figure 2 présente le réseau d'écoulement sous un barrage de 600 m de longueur. Vous pouvez supposer que le réseau d'écoulement a été dessiné avec des mailles carrées. Le sol sous le barrage est un sable de quartz. Il a une conductivité hydraulique  $k = 2 \times 10^{-5}$  m/s et un poids volumique sec  $\gamma_d = 18,7$  kN/m<sup>3</sup>.

- Calculez le débit dans le sol sous le barrage (6 points).
- Si un piézomètre est installé pour mesurer la charge hydraulique au point A dans la figure 2, quel sera le niveau d'eau dans le tuyau du piézomètre? Utilisez le système de référence de la figure 2 pour donner votre élévation (4 points).
- Calculez la pression d'eau  $u$  au point A (3 points).
- Calculez la vitesse de Darcy (vitesse superficielle) et la vitesse réelle de l'eau (par exemple, la vitesse d'un traceur ou d'un contaminant) au point A (4 points).
- Estimez le gradient hydraulique maximal pour ce réseau d'écoulement (3 points).

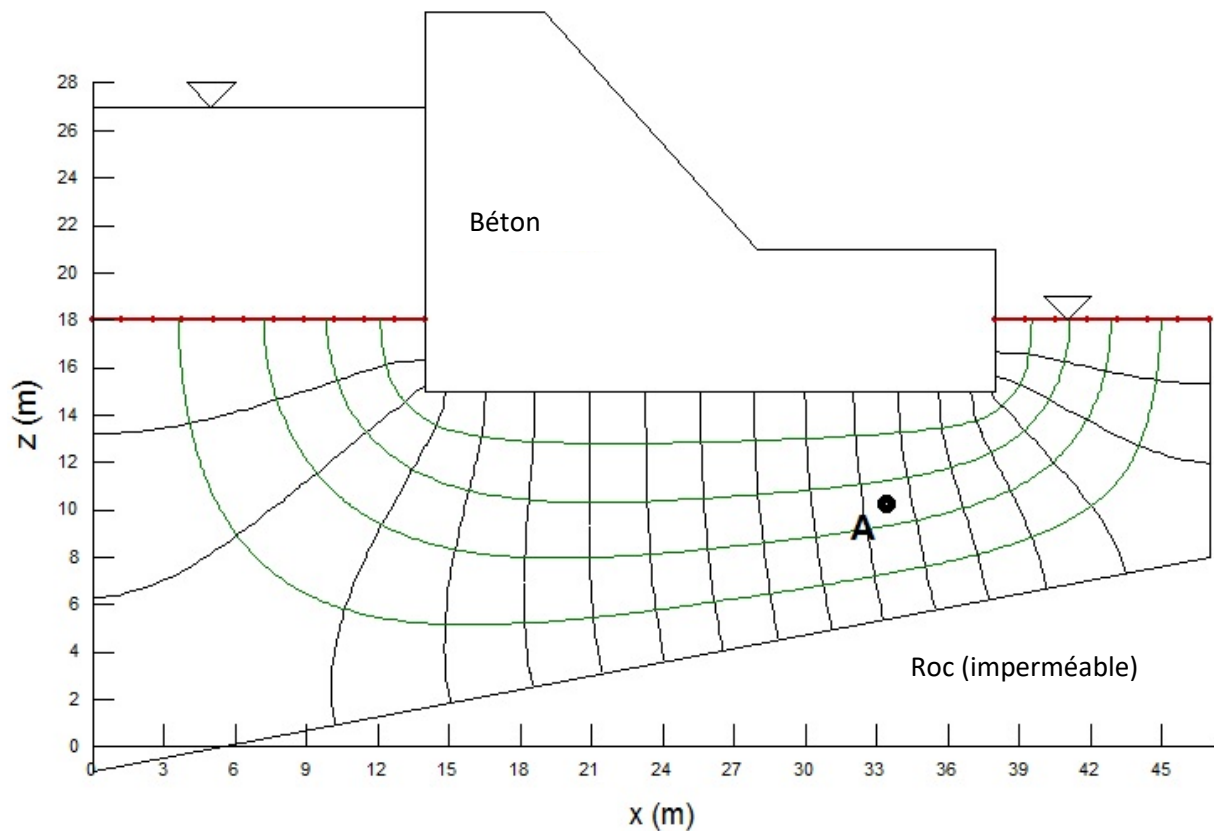


Figure 2 : Réseau d'écoulement pour la question 2.

### Question 3 (30 points)

Un essai de pompage a été réalisé dans un aquifère à nappe captive de 4 m d'épaisseur. Le puits de pompage pénètre complètement l'aquifère. Avant l'essai de pompage, trois piézomètres ont été installés à différentes distances du puits de pompage. Durant l'essai, un débit constant de 26 L/min a été maintenu.

- a) Le tableau 1 donne le rabattement pour le piézomètre P2 en fonction du temps écoulé depuis le début du pompage. Le piézomètre P2 est situé à 10 m du puits de pompage. En utilisant la méthode de Cooper-Jacob, calculez la transmissivité ( $T$ ) et l'emmagasinement ( $S$ ) de l'aquifère à nappe captive. Vous pouvez utiliser le graphique semi-logarithmique de la figure 3 pour tracer la courbe de rabattement (12 points).

Tableau 1 : Rabattements pour le piézomètre P2.

Temps (minutes)	Rabattement (cm)	Temps (minutes)	Rabattement (cm)
0,25	1,1	8	11,6
0,5	2,8	10	12,0
1	5,2	30	13,0
2	7,9	60	13,2
4	10,1	120	13,4
6	11,1	240	13,5

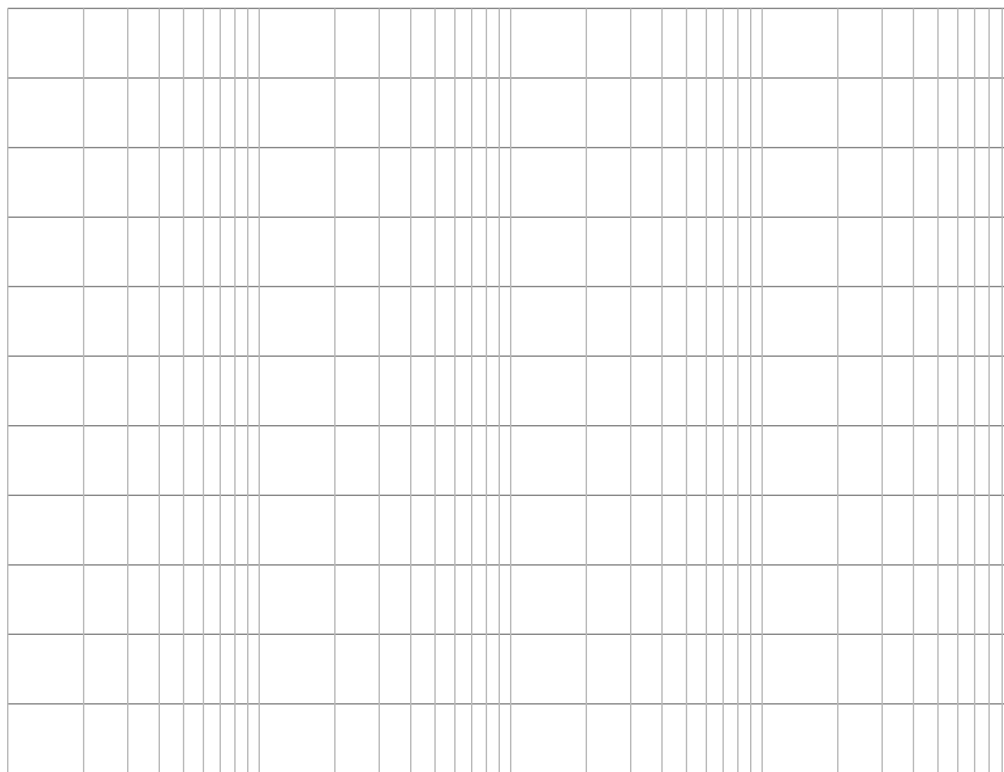
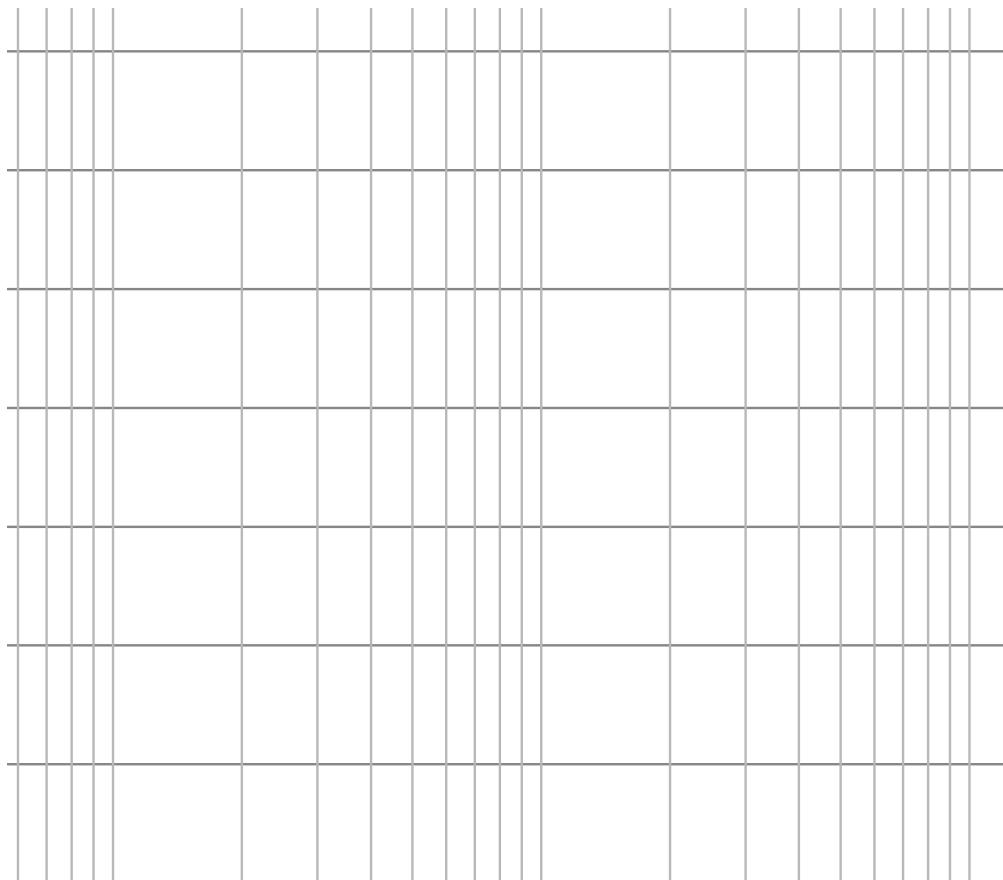


Figure 3 : Graphique semi-logarithmique pour la courbe de rabattement de la méthode de Cooper-Jacob.

- b) Quel type de frontière peut être observée pour l'aquifère à partir des rabattements du tableau 1 (3 points)?
- c) Pendant le même essai de pompage, les rabattements pour les trois piézomètres ont atteint un régime permanent. Les rabattements et la distance entre le puits de pompage et chaque piézomètre sont donnés au tableau 2. Utilisez les données du tableau 2 pour calculer la transmissivité ( $T$ ). Vous pouvez utiliser le graphique semi-logarithmique de la figure 4 (10 points).
- d) En supposant un gradient hydraulique régional de 0,01 avec un écoulement de l'est vers l'ouest, décrivez l'aire de l'aquifère qui contribue au débit de 26 L/minute (zone de contribution, ZOC, dans EPA/625/R-94/001) (5 points).

**Tableau 2: Rabattements en régime permanent pour les piézomètres P1, P2 et P3.**

Piézomètre	Distance entre le piézomètre et le puits de pompage (m)	Rabattement en régime permanent (cm)
P1	6	18,5
P2	10	13,5
P3	20	6,9



**Figure 4: Graphique semi-logarithmique pour le calcul de la transmissivité à partir du rabattement en régime permanent.**

#### Question 4 (25 points)

Un remblai de grande superficie avec une épaisseur de 5,0 m va être construit sur le profil de sol présenté à la figure 5. Le profil de sol inclut une couche d'argile de 7,0 m d'épaisseur située entre deux couches de sable. La couche supérieure de sable a une épaisseur de 4,5 m. La surface de la nappe est à 3,0 m sous le niveau initial du sol. La figure 5 donne les propriétés principales du remblai, des couches de sable et de la couche d'argile. Pour la couche d'argile, la figure 5 donne aussi les principaux résultats d'un essai de consolidation réalisé avec un échantillon obtenu au centre de la couche d'argile.

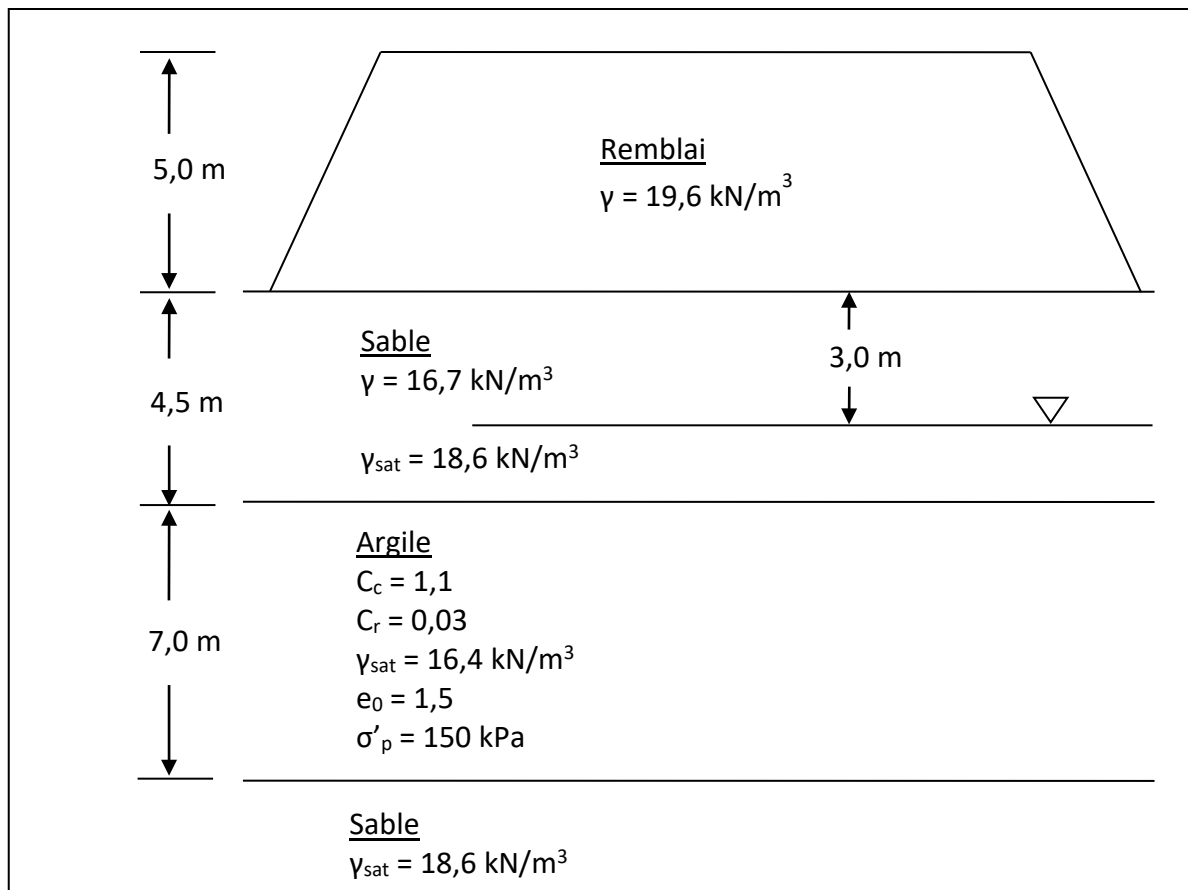


Figure 5 : Profil et propriétés des sols pour la question 4 (pas à l'échelle).

- Calculez le tassement total de consolidation causé par le remblai (12 points).
- L'essai de consolidation réalisé avec l'échantillon d'argile a donné un coefficient de consolidation  $c_v = 1,5 \text{ m}^2/\text{an}$ . Calculez le temps nécessaire pour atteindre un tassement de 100 mm après la construction du remblai (8 points).
- Un piézomètre a été installé au centre de la couche d'argile après la mise en place du remblai pour suivre la consolidation et pour estimer la valeur réelle de  $c_v$  sur le terrain. 10 mois après la construction, le piézomètre mesurait une pression d'eau totale  $u = 131 \text{ kPa}$ . Estimez la valeur de  $c_v$  à parti de la pression d'eau (5 points).

**Question 5 (10 points)**

Une série d'essais de cisaillement triaxial drainé avec consolidation isotrope (CID) ont été réalisés pour un sable. Des contraintes de confinement ( $\sigma'_3$ ) de 100, 200 et 400 kPa ont été utilisées. La rupture s'est produite à des contraintes déviatorique ( $\Delta\sigma'_1$ ) de respectivement 270, 540 et 1100 kPa. Donnez les valeurs de  $c'$  et  $\phi'$  qui décrivent le mieux l'enveloppe de rupture de Mohr-Coulomb pour ce sable.

