

Exercice 1 : Justifier les relations suivantes

1. a) $e = n / (1 - n)$ b) $n = e / (1 + e)$
2. a) $w = e S_r \gamma_w / \gamma_s$ b) $e_{sr} = w \gamma_s / \gamma_w$ c) $n_{sr} = w / (\gamma_w / \gamma_s + w)$
3. $\gamma_h = \gamma_s (1 - n) + \gamma_w S_r n$ 4. $\gamma_d = \gamma_s (1 - n) = \gamma_s / (1 + e)$
5. $S_r = w / (\gamma_w / \gamma_d - \gamma_w / \gamma_s)$ 6. $\gamma_h = \gamma_s (1 + w) / (1 + e)$
7. $\gamma_h^{sr} = \gamma_d + \gamma_w n$ 8. $\gamma_d = \gamma_h / (1 + w)$
9. $e = V_t \gamma_s / P_s - 1$ 10. $\gamma' = (\gamma_s - \gamma_w) (1 - n)$

Exercice 2 : Un échantillon d'argile saturée a une masse de **1230 g**. Après passage à l'étuve, sa masse n'est plus que **983 g**. Le constituant solide des grains a une densité de **2,7**.

Calculer: La teneur en eau, l'indice des vides, la porosité, la densité humide ainsi que le poids volumique.

Exercice 3 : Un échantillon de sol a une masse de **128 g** et un volume de **58,4 cm³**. La masse des grains est de **120,5 g**. Le constituant solide des grains a une densité de **2,6**.

Calculer: La teneur en eau, l'indice des vides et le degré de saturation.

Exercice 4 : Un sable quartzeux pèse à l'état sec **15 kN/m³**. La densité du quartz est **2,66**.

Calculer à la saturation, le poids volumique humide et la densité humide.

Exercice 5 : Un échantillon d'argile est placé dans un récipient en verre. La masse totale de l'échantillon humide et du récipient est de **72,49 g**. Cette masse est ramenée à **61,28 g** après passage à l'étuve. La masse du récipient est de **32,54 g**. La densité du constituant solide est **2,69**.

a) On suppose que l'échantillon est saturé. Calculer: La teneur en eau, la porosité, l'indice des vides, la densité humide et la densité déjaugée.

b) Le volume initial de l'échantillon est de **22,31 cm³**. On demande: Le degré de saturation réel et les nouvelles valeurs des densités

Exercice 6 : On pratique une analyse granulométrique sur un échantillon de sol sec. A la fin de l'opération de tamisage, on effectue les opérations de pesées des refus dans chaque passoire. Les résultats sont résumés sur le tableau 1 ci-contre.

1. Compléter le tableau.
2. Tracer la courbe granulométrique du sol en question.
3. Calculer le coefficient d'uniformité et le coefficient de courbure.
4. Classer le sol sous étude.

| module | passoire [mm] | refus [g] |
|--------|---------------|-----------|
| 1 | 100 | 78 |
| 2 | 80 | 43 |
| 3 | 63 | 89,6 |
| 4 | 50 | 115,3 |
| 5 | 40 | 423,5 |
| 6 | 31,5 | 72 |
| 7 | 25 | 438,9 |
| 8 | 20 | 702,1 |
| 9 | 16 | 1,7 |
| 10 | 12,5 | 3,1 |
| 11 | 10 | 5,8 |
| 12 | 8 | 8,0 |
| 13 | 5 | 10,4 |
| 14 | 4 | 2,0 |
| 15 | 3,15 | 0,3 |
| 16 | 2,5 | 2,5 |
| 17 | 2 | 1,1 |
| 18 | 1,6 | 2,7 |
| 19 | 1,25 | 0,0 |

Exercice 7 :

Refaire le même exercice précédent pour une analyse granulométrique dont les résultats sont résumés sur le tableau 2 ci-contre.

| module | passoire [mm] | refus [g] |
|--------|---------------|-----------|
| 1 | 12,5 | 0 |
| 2 | 10 | 14 |
| 3 | 8 | 9,2 |
| 4 | 5 | 29,3 |
| 5 | 4 | 35,2 |
| 6 | 3,15 | 47,2 |
| 7 | 2,5 | 63,3 |
| 8 | 2,0 | 126,8 |
| 9 | 1,6 | 155,6 |
| 10 | 1,25 | 167,2 |
| 11 | 1,0 | 236,0 |
| 12 | 0,8 | 273,2 |
| 13 | 0,63 | 240,4 |
| 14 | 0,5 | 219,2 |
| 15 | 0,4 | 180,8 |
| 16 | 0,315 | 120,0 |
| 17 | 0,25 | 55,2 |
| 18 | 0,2 | 16,4 |
| 19 | 0,16 | 5,2 |
| 20 | 0,125 | 1,2 |
| 21 | 0,1 | 0,8 |
| 22 | 0,08 | 0,6 |
| 23 | fond | 3,2 |

Exercice 8 : Classifier le sol dont 65 % des particules sont retenues par le tamis n° 4 et 32 % sont retenues par le tamis n° 200. On donne $C_u = 3$ et $C_c = 1$.

Exercice 9 : Classifier le sol dont la totalité des particules passe par le tamis n° 4 et 90 % passent le tamis n° 200. Les particules fines ont le comportement suivant: résistance du matériau sec: faible à moyenne. Dilatance : modérée à rapide. $W_L = 23 \%$ et $W_P = 17 \%$

Exercice 10 : Classifier le sol dont 5 % des particules sont retenues par le tamis n° 4 et 70 % passent le tamis n° 4 mais sont retenues par le tamis n° 200. Les particules fines ont une faible plasticité et une dilatation élevée

Solutions de quelques exercices :

Exercice 2

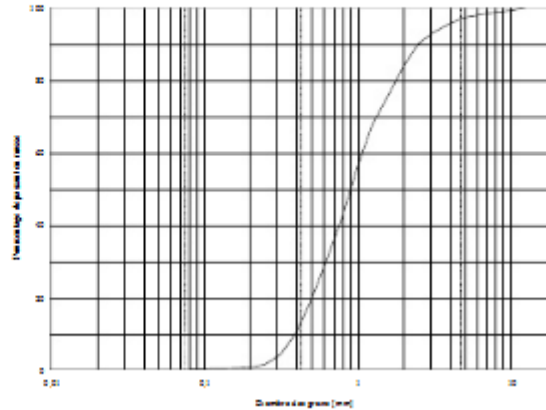
La courbe granulométrique est tracée comme ci-contre. D'où on tire:

$$\begin{aligned}d_{10} &= 0,4 \text{ mm} \\d_{30} &= 0,61 \text{ mm} \\d_{60} &= 1,1 \text{ mm}\end{aligned}$$

ce qui donne

$$C_u = 2,75 \text{ et } C_c = 0,85$$

Il s'agit donc d'un sable propre moyen et grossier noté SP.



Exercice 4

Utilisant les définitions des caractéristiques demandées on trouve:

$$w = 25\%; e = 0,675; n = 0,403; d_h = 2,01; \gamma_h = 19,72 \text{ kN/m}^3$$

Exercice 8

Pour le sol 1 la classification se fait comme suit: Le sol est à grains grossiers, un sable. Mais il s'agit d'un cas limite (voir Tab. 2.10). On utilise alors le double symbole (SM ou SC) avec (SW ou SP). D'après la courbe granulométrique, on obtient: $D_{60}=0,71 \text{ mm}$; $D_{30}=0,34 \text{ mm}$; $D_{10}=0,18 \text{ mm}$, $C_u = 3,9$ et $C_c = 0,91$ d'où: une granulométrie peu étalée. Il s'agit donc d'un sol SP-SM: un sable silteux à granulométrie peu étalée.

Exercice 1

a. La courbe a la forme ci-contre, elle possède notamment un maximum.

b. Nous utilisons les expressions

$$S_r = w / (\gamma_w / \gamma_d - \gamma_w / \gamma_s)$$
$$\gamma_h = \gamma_d (1 + w)$$

ce qui donne

$$S_{r1} = 29,5 \% \quad \text{et} \quad S_{r2} = 87,5 \%$$
$$\gamma_{h1} = 20,38 \text{ kN/m}^3 \quad \text{et} \quad \gamma_{h2} = 21,95 \text{ kN/m}^3$$

c. Le volume d'eau à ajouter est

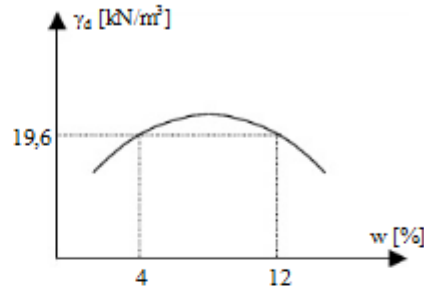
$$\Delta V_w = V_{wf} - V_{wi} \quad \text{avec} \quad V_w = S_r V_v$$

le volume des vides est donné par

$$V_v = V_t - V_s \quad \text{où} \quad V_s = P_s / \gamma_s$$

Appliquant ces formules sur l'état initial et l'état final, on obtient comme application numérique

$$\Delta V_w = 47,37 \text{ cm}^3$$



Exercice 1

Il s'agit d'un essai à charge constante. Utilisant la formule directe associée à l'essai, il vient: $k = 0,11 \text{ cm/s}$.

Exercice 2

Le but de l'exercice est de calculer la perméabilité moyenne horizontale et verticale. L'application numérique est directe et donne: $k_h = 0,4 \cdot 10^{-2} \text{ cm/s}$, $k_v = 1,43 \cdot 10^{-2} \text{ cm/s}$.

Exercice 3

La contrainte totale au point M est donnée par: $\sigma_M = \gamma_\pi D$

La pression interstitielle est donnée par $\sigma_{uM} = (D-d) \gamma_w$

Alors, la contrainte effective au point M est $\sigma'_M = \sigma_M - \sigma_{uM} = (\gamma_\pi - \gamma_w) D + d\gamma_w$

L'application numérique donne $\sigma'_M = 49,5 \text{ kPa}$.

Chapitre 6: Tassement, compressibilité et consolidation

Exercice 2

1. La courbe de compressibilité est tracée sur la page suivante.
2. La construction de Casagrande donne une contrainte de préconsolidation égale à 170 kPa. Le sol est donc sur-consolidé. Le taux de surconsolidation est $r_{sc} = 1,3$. Pour le tracé de la courbe de compressibilité pour le sol en place on utilise la construction de Schmertmann à trois points.
3. Dans la zone de compression vierge on obtient $C_c = 0,261$.
Dans la zone de recompression on obtient $C_r = 0,025$
4. Dans les conditions de l'exercice, le tassement de consolidation est composé de deux parties. Une partie calculée dans la zone de recompression, la deuxième étant calculée dans la zone de compression vierge. Tout calcul fait, on obtient $S_c = 0,6$ m.

Exercice 3

1. Dans la formule du tassement instantané, on prendra $q = 150$ kPa correspondant à la charge de l'édifice, le coefficient de Poisson est égale à 0,5 car le tassement instantané se fait sans changement de volume (pas d'évacuation de l'eau). Le facteur d'influence est tiré du tableau donné dans le cours $I = 1,12$. Tout calcul fait on trouve $S_i = 0,63$ m.
2. Le calcul du tassement de consolidation est directe et est égal à $S_c = 0,24$ m.

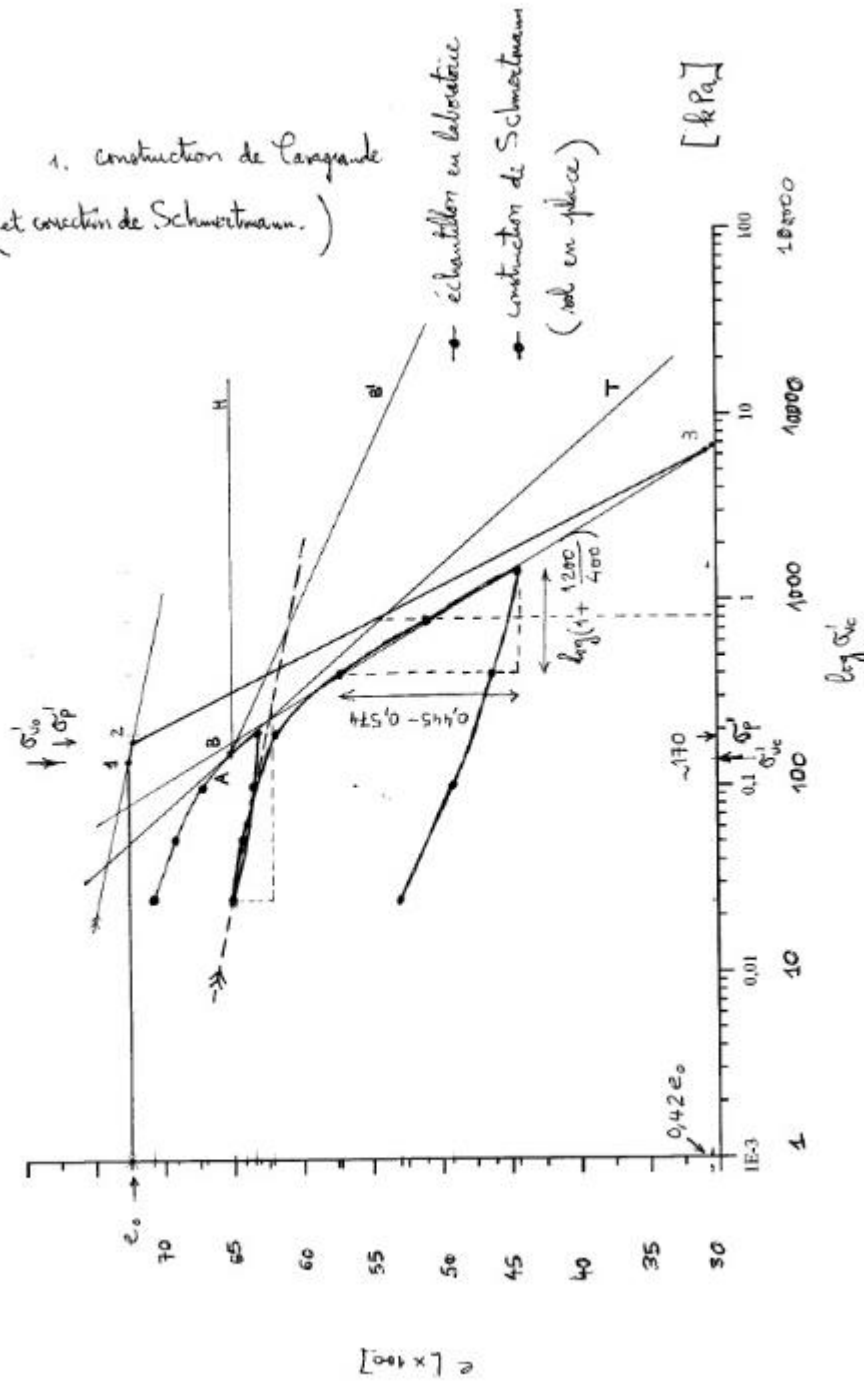
Exercice 10

- a. La relation entre le tassement et le temps est établie grâce à la notion du degré de consolidation moyen. Le tassement de consolidation S_c étant connu, la solution se fait dans le sens $S(t)$, U_{moy} , T et finalement le temps t , d'où pour $s(t) = 0,4$ m on trouve la durée nécessaire $t = 39,26$ ans.
- b. Dans cette question on fait le chemin inverse au précédant : temps t , facteur temps T , U_{moy} et finalement $s(t)$. Ainsi pour $t = 5$ ans, on trouve $s(t) = 14,4$ cm.

Exercice 17

Le calcul du tassement secondaire nécessite la détermination de c_{α} dans la zone correspondant à la période 25 à 50 ans. A partir des données expérimentales on trace la courbe $e(\log t)$ comme montrer sur la page suivante. D'où les valeurs $e_p = 2,373$ et $c_{\alpha} = 0,053$. Ainsi, le tassement secondaire relatif à la période 25 à 50 ans est d'intensité $S_s = 0,047$ m.

1. construction de Casagrande
(et correction de Schmertmann.)



Solution de l'exercice 2