

## CORRECTION DE LA SERIE DE TD N° 2

### Exercice 1

1- Calcul de la teneur en eau naturelle du sol :

Nous avons la teneur en eau exprimée en poids ou en termes de masses :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100 = \frac{m - m_s}{m_s} \cdot 100$$

NB : l'accélération « g » est simplifiée lors des calculs

Et :  $m = 1350g$  ;  $m_s = 975g$  et  $D_s = 2,3$

Donc :

$$w = \frac{1350 - 975}{975} \cdot 100$$

$$w = 38,46\%$$

2- Calcul de l'indice des vides :

Nous avons :

$$Sr = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{w}{e} \text{ et } D_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Donc :

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{w}{Sr} \rightarrow e = D_s \cdot \frac{w}{Sr}$$

Sachant que l'argile étudiée est saturée, donc son degré de saturation  $Sr = 100\%$

Donc l'A.N. donne :

$$e = 2,3 \cdot \frac{38,46}{100}$$

Par conséquent :

$$e = 0,88$$

Calcul de la porosité :

Nous avons :

$$n = \frac{e}{e + 1}$$

Donc :

$$n = \frac{0,88}{0,88 + 1}$$

$$n = 0,47$$

### Exercice 2

1) Dans cette première partie de l'exercice, l'échantillon d'argile est « **SUPPOSÉ SATURÉ** » donc, son degré de saturation  **$Sr_1 = 100\%$**

Nous avons aussi :

La masse totale de l'échantillon humide et du récipient est  $m_{h+tar} = A = 72,49$  g ;

La masse de l'échantillon sec à  $m_{s+tar} = B = 61,28$  g (après passage à l'étuve) ;

La masse du récipient est  $m_{tar} = C = 32,54$  g ;

La densité du constituant solide est :  $D_s = 2,69$

a) Calcul de la teneur en eau ( $w$ ),

Nous avons :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100 = \frac{m - m_s}{m_s} \cdot 100$$

NB : l'accélération « g » est simplifiée lors des calculs

Donc :

$$w = \frac{(A - C) - (B - C)}{(B - C)} \cdot 100 = \frac{A - B}{B - C} \cdot 100$$

$$w = \frac{72,49 - 61,28}{61,28 - 32,54} \cdot 100$$

$$w = 39 \%$$

b) Calcul de l'indice des vides ( $e$ )

Nous avons :

$$Sr = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{w}{e} \text{ et } D_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Donc :

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{w}{Sr} \rightarrow e = D_s \cdot \frac{w}{Sr}$$

Sachant que l'argile étudiée est *supposée saturée dans cette partie de l'exercice*), donc son degré de saturation  $Sr = 100\%$

Donc l'A.N. donne :

$$e = 2,69 \cdot \frac{39}{100}$$

Par conséquent :

$$e = 1,05$$

c) Calcul de la porosité ( $n$ )

Nous avons :

$$n = \frac{e}{e + 1}$$

Donc :

$$n = \frac{1,05}{1,05 + 1}$$

$$n = 0,51$$

d) Calcul des densités :  $D_h$ ,  $D_s$  et  $D'$  ?

**Calcul de la densité du sol humide  $D_h$  :**

Nous avons  $D_h = \frac{\gamma_h}{\gamma_w}$  (n°1)

Avec :  $\gamma_h = (1 - n) \cdot \gamma_s + n \cdot Sr \cdot \gamma_w$  (n°2) et  $D_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \rightarrow \gamma_s = D_s \cdot \gamma_w$  (n°3)

En remplaçant les équations (n°2) et (n°3) dans l'équation (n°1), on obtient :

$$D_h = \frac{(1 - n). D_s. \gamma_w + n. Sr. \gamma_w}{\gamma_w}$$

En simplifiant par le poids volumique de l'eau  $\gamma_w$ , on obtient :

$$D_h = (1 - n). D_s + n. Sr$$

Donc :

$$D_h = (1 - 0,51). 2,69 + 0,51.1$$

N.B. : Comme le degré de saturation se présente dans cette formule avec un autre indice (la porosité), il est, donc, noté comme indice (On le note en application numérique avec 1 au lieu de 100%)

$$D_h = 1,83$$

### Calcul de la densité des grains solides $D_s$ :

Cette densité est déjà donnée dans l'énoncé de l'exercice, et elle ne change pas car elle représente le squelette solide en état sec. Par conséquent,  $D_s=2,69$

### Calcul de la densité du sol déjaugé $D'$ :

Nous avons:

$$D' = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \quad (n^{\circ}4)$$

$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$  dans le cas présent (échantillon saturé), on a :

$$\gamma_h = \gamma_{sat} \rightarrow \gamma' = \gamma_h - \gamma_w \quad (n^{\circ}5)$$

En introduisant les équations (n°2) et (n°5) dans l'équation (n°4), on obtient :

$$D' = \frac{(\gamma_h - \gamma_w)}{\gamma_w} = \frac{(1 - n). D_s. \gamma_w + n. Sr. \gamma_w - \gamma_w}{\gamma_w}$$

En simplifiant le poids volumique de l'eau, on obtient :

$$D' = (1 - n). D_s + n. Sr - 1$$

Donc :

$$D' = (1 - 0,51). 2,69 + 0,51.1 - 1$$

$$D' = 0,83$$

2) Dans cette partie de l'exercice, **l'échantillon N'EST PLUS SUPPOSÉ COMME SATURÉ (donc  $Sr \neq 100\%$ )**. Le volume total de l'échantillon est  $V = 22,31 \text{ cm}^3$

a) Calcul du degré de saturation réel :

Nous avons dans la définition du degré de saturation :

$$Sr = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100 \quad (n^{\circ}6)$$

Donc, nous devons calculer  $V_w$  et  $V_v$  :

Nous avons :

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w} \rightarrow V_w = \frac{W_w}{\gamma_w}$$

$$\text{et } W = W_w + W_s \rightarrow W_w = W - W_s = (m - m_s). g$$

$$\text{Alors : } V_w = \frac{(m - m_s). g}{\gamma_w}$$

$$\text{A.N. : } V_w = \frac{(39,95 - 28,74). 10^{-3} \cdot 9,81}{10.10^3}$$

$$V_w = 11.10^{-6} m^3 \quad (n^{\circ}7)$$

Sachant que :  $V = V_v + V_s \rightarrow V_v = V - V_s$

$$\text{Et : } D_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \rightarrow \gamma_s = D_s \cdot \gamma_w ; \text{ ainsi } \gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \rightarrow \frac{W_s}{V_s} = D_s \cdot \gamma_w$$

$$V_s = \frac{W_s}{D_s \cdot \gamma_w}$$

$$V_v = V - V_s = V - \frac{W_s}{D_s \cdot \gamma_w} = V - \frac{m_s \cdot g}{D_s \cdot \gamma_w}$$

$$\text{A.N. : } V_v = 22,31.10^{-6} - \frac{28,74.10^{-3} \cdot 9,81}{2,69.10.10^3}$$

$$V_v = 11,83.10^{-6} m^3 \quad (n^{\circ}8)$$

En remplaçant les résultats de n° 7 et n°8 dans l'équation n°6, on obtient :

$$Sr = \frac{11.10^{-6}}{11,83.10^{-6}} \cdot 100$$

$$Sr = 92,98 \%$$

b) Calcul des nouvelles valeurs des densités : Dh, Ds et D'

**Calcul de la nouvelle valeur de la densité du sol humide Dh :**

**N.B. :** En suivant la même méthodologie utilisée lors de la première partie de l'exercice (question n° 1-d). Sauf que cette fois-ci, on recalcule le poids volumique totale  $\gamma_h$  avec les nouvelles valeurs du degré de saturation réel et de la porosité réelle (car « n » a été calculée avant (question n° 1-d) à partir de l'indice des vides « e » (ayant été déduit à la base d'un degré de saturation supposé égal à 100%))

Alors, nous avons : (cf. question n° 1-d)

$$D_h = (1 - n) \cdot D_s + n \cdot Sr$$

EN recalculant la nouvelle valeur de « n » :

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{11,83}{22,31} \rightarrow n = 0,53$$

A.N. :

$$D_h = (1 - 0,53) \cdot 2,69 + 0,53 \cdot 0,9298$$

$$D_h = 1,76$$

**N.B. :** Comme le degré de saturation se présente dans cette formule avec un autre indice (la porosité), il est, donc, noté comme indice (On le note en application numérique avec 0,9298 au lieu de 92,98%)

**Calcul de la nouvelle valeur de la densité des grains solides Ds :**

Cette densité **est déjà donnée dans l'énoncé** de l'exercice, et elle **ne change pas** car elle représente le squelette solide en état sec. Par conséquent,  $D_s=2,69 \rightarrow$  **Elle reste la même quelque soit l'état de ce sol (sec, humide ou saturé)**

**Calcul de la nouvelle valeur de la densité du sol déjaugé D' :**

$$\text{Nous avons } D' = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \quad (n^{\circ}4)$$

Dans le cas présent, l'échantillon n'est plus saturé ( $\gamma_h \neq \gamma_{sat}$ ), donc l'équation (n°5) **n'est pas applicable**

Nous avons :

$$\gamma' = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e} \quad (n^\circ 9)$$

En remplaçant (n°9) dans la formule (n°4), on obtient :

$$D' = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w \cdot (1 + e)}$$

On doit recalculer la nouvelle valeur de l'indice des vides :

$$e = \frac{n}{1 - n} = \frac{0,53}{1 - 0,53} \rightarrow e = 1,13$$

Alors :

$$D' = \frac{26,9 - 10}{10 \cdot (1 + 1,13)}$$

Donc :

$$D' = 0,79$$

### Exercice 3 :

Détermination du poids de l'eau ( $W_w$ ) à ajouter à un volume de sol ( $V=1m^3$ ) afin d'atteindre un degré de saturation de l'ordre de  $S_r=95\%$  :

Données :  $\gamma_d = 17,7 \text{ KN}/m^3$  et  $\gamma_s = 26,5 \text{ KN}/m^3$

Nous avons la formule qui évoque le poids de l'eau est celle de la teneur en eau :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 \rightarrow W_w = w \cdot W_s \cdot \frac{1}{100} \quad (n^\circ 10)$$

Nous devons, ensuite, trouver le poids des grains solides  $W_s$  et la teneur en eau « w » :

#### Calcul de $W_s$ :

Nous avons :  $\gamma_d = \frac{W_s}{V} \rightarrow W_s = \gamma_d \cdot V$

$$W_s = 17,7 \cdot 1 \rightarrow W_s = 17,7 \text{ KN} = 17700 \text{ N}$$

#### Calcul de w :

Nous avons aussi :

$$S_r = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{w}{e} \rightarrow w = S_r \cdot e \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$$

Nous calculons « e » :

Nous avons :  $e = \frac{n}{1-n}$  et  $n = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}$

Donc :  $n = 1 - \frac{17,7}{26,5} = 0,33 \rightarrow e = \frac{0,33}{1-0,33} = 0,49$

Alors, pour  $S_r = 95\%$  :

$$w = Sr \cdot e \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s} = 95 \cdot 0,49 \cdot \frac{10}{26,5} \rightarrow w = 17,57\%$$

Par conséquent, les valeurs de  $W_s$  et de  $w$  vont être introduites dans l'équation (n°10) pour **Calculer le  $W_w$**  :

$$W_w = w \cdot W_s \cdot \frac{1}{100} = 17,57 \cdot 17,7 \cdot \frac{1}{100}$$

Finalement :

$$W_w = 3,11 \text{ KN}$$

#### Exercice 4 :

Données de m'exercice :

Sol n°1	Sol n°2
$\gamma_1 = 16,9 \text{ KN/m}^3$	$\gamma_2 = 17,9 \text{ KN/m}^3$
$Sr_1 = 50 \%$	$Sr_2 = 72 \%$
$n_1 = 0,35$	$n_2 = 0,45$

1) Calcul du poids volumique des grains solides  $\gamma_s$

Nous avons :

$$\gamma = (1 - n) \cdot \gamma_s + n \cdot Sr \cdot \gamma_w$$

$$(1 - n) \cdot \gamma_s = \gamma - n \cdot Sr \cdot \gamma_w$$

$$\gamma_s = \frac{\gamma - n \cdot Sr \cdot \gamma_w}{1 - n}$$

Avec :  $\gamma_w = 10 \text{ KN/m}^3$  : le poids volumique de l'eau est toujours constant.

Sol n°1	Sol n°2
$\gamma_{s1} = \frac{\gamma_1 - n_1 \cdot Sr_1 \cdot \gamma_w}{1 - n_1}$	$\gamma_{s2} = \frac{\gamma_2 - n_2 \cdot Sr_2 \cdot \gamma_w}{1 - n_2}$
$\gamma_{s1} = \frac{16,9 - (0,35 \cdot 0,5 \cdot 10)}{1 - 0,35}$	$\gamma_{s2} = \frac{17,9 - (0,45 \cdot 0,72 \cdot 10)}{1 - 0,45}$
$\gamma_{s1} = 23,31 \text{ KN/m}^3$	$\gamma_{s2} = 26,65 \text{ KN/m}^3$

2) Calcul des indices des vides « e » :

Nous avons :  $e = \frac{n}{1-n}$  ; Donc :

Sol n°1	Sol n°2
$e_1 = \frac{n_1}{1 - n_1}$	$e_2 = \frac{n_2}{1 - n_2}$
$e_1 = \frac{0,35}{1 - 0,35}$	$e_2 = \frac{0,45}{1 - 0,45}$
$e_1 = 0,54$	$e_2 = 0,82$