

**TASSEMENTS - CONSOLIDATION
ENONCES**

EXERCICE N°1.**TASSEMENT DU A UNE BAISSSE DE NIVEAU DE LA NAPPE PHREATIQUE**

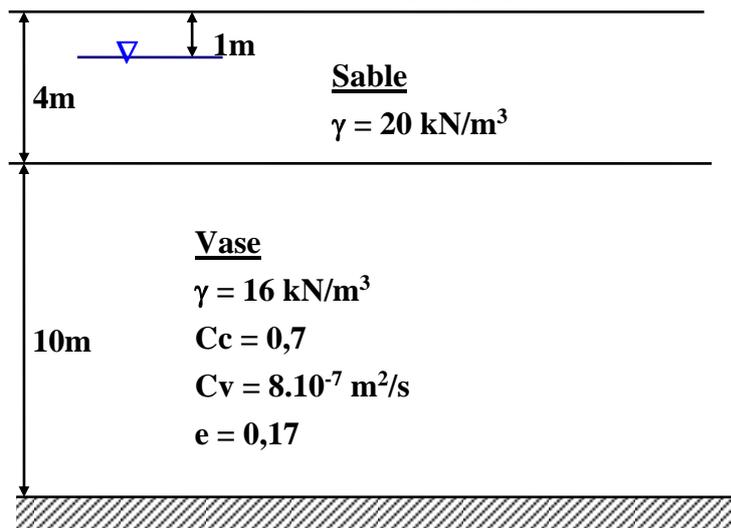
On abaisse par pompage le niveau de la nappe d'un mètre.

a) Calculer le tassement dû au pompage.

- Pour celà, on calculera la contrainte effective avant pompage, puis l'augmentation de contrainte effective après pompage.

b) Calculer les temps au bout desquels on atteint 10% , 50%, et 90% de consolidation.

**Etat initial du sol avant
pompage**



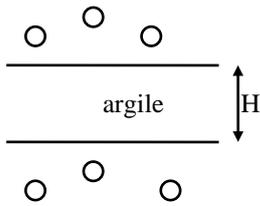
NB	1 jour	: 86400 s.
	1 mois	: $2,6.10^6$ s.
	1 an	: $3,15.10^7$ s

oOo

EXERCICE N°2.

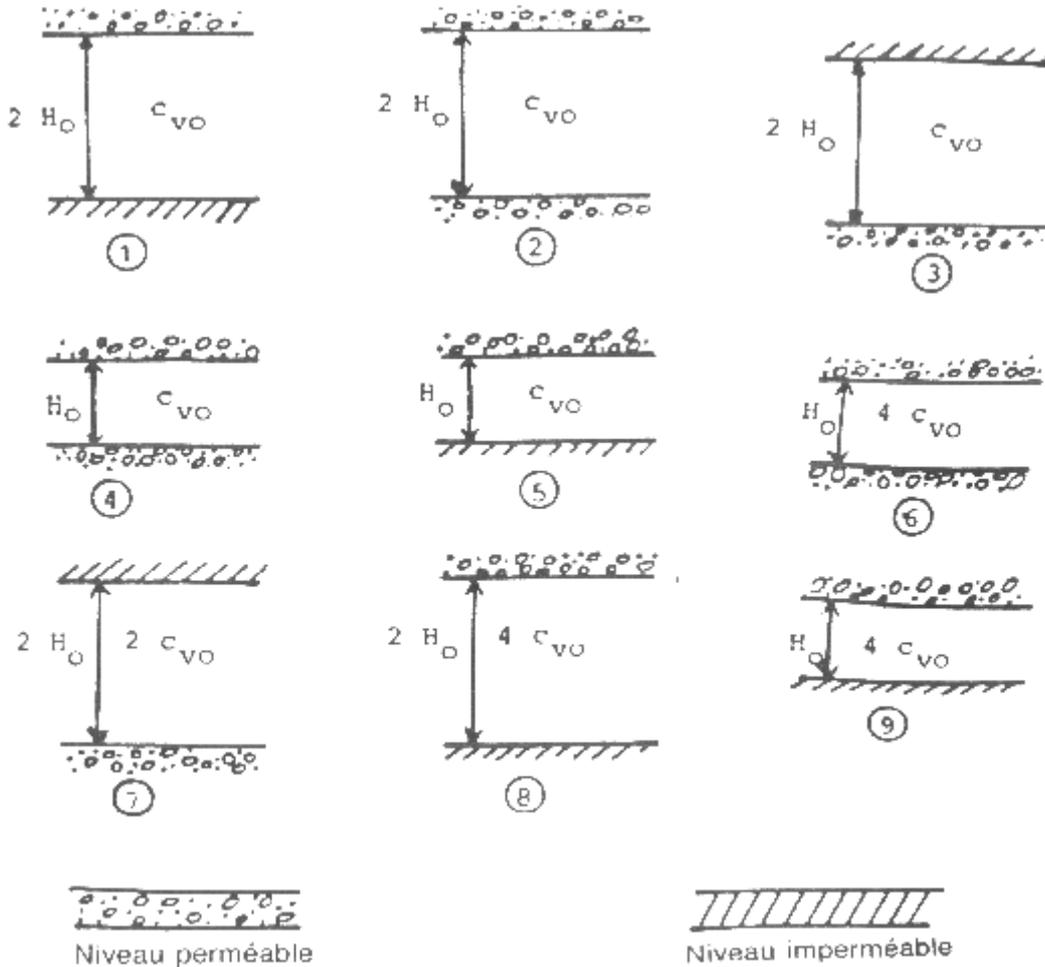
Un remblai de grandes dimensions est édifié sur une couche d'argile saturée de 6m d'épaisseur. Le tassement final de la couche d'argile est égal à 60 cm.

Tracer la courbe de tassement de la couche d'argile en fonction du temps, sachant que la couche compressible est drainée par le haut et par le bas, que l'on peut utiliser la solution de la théorie de la consolidation unidimensionnelle de Terzaghi et que le coefficient de consolidation de l'argile vaut $c_v = 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.



EXERCICE N° 3.

Classer par ordre de vitesses de consolidation croissantes les cas suivants :



EXERCICE N° 4.

Le calcul du tassement d'un ouvrage fondé sur une couche d'argile a indiqué un tassement total de l'ordre de 20cm et de 8 cm après trois ans d'application de la charge, en supposant la couche d'argile drainée par sa surface et par sa base.

- * a) Dans l'hypothèse où la couche d'argile ne pourrait se drainer que par une seule face, calculer le tassement total à prévoir, et la durée nécessaire d'application de la charge pour obtenir un tassement de 8 cm.
- * b) Une reconnaissance complémentaire a confirmé l'existence d'une couche sableuse drainante à la base de la couche d'argile, et montré la présence de strates sableuses situées environ au tiers et aux deux tiers de l'épaisseur

de la couche d'argile. En supposant que ces strates sableuses soient assez continues à l'échelle de l'ouvrage pour assurer le drainage de la couche d'argile, calculer le tassement total à prévoir et la durée nécessaire d'application de la charge pour obtenir un tassement de 8 cm.

- * c) Les résultats de l'ensemble des essais de compressibilité réalisés en laboratoire sur les échantillons prélevés dans la couche d'argile sont légèrement différents des valeurs retenues dans le calcul préliminaire: l'indice de compression CC mesuré est égal à 80% de la valeur initialement retenue, et le coefficient de consolidation c_v mesuré est égal à 70% de la valeur initialement retenue. Calculer le tassement total à prévoir et la durée nécessaire d'application de la charge pour obtenir un tassement de 8 cm, dans l'hypothèse d'un drainage de la couche d'argile par la surface et par la base, et dans l'hypothèse d'un drainage supplémentaire par les strates sableuses.

oOo

EXERCICE N° 5.

Un bâtiment A, fondé sur une couche argileuse, a tassé de 3 cm en trois ans. On sait par ailleurs que son tassement total devrait être de l'ordre de 10 cm.

Un bâtiment B, identique au bâtiment A, doit être construit sur une couche argileuse de mêmes caractéristiques, mais d'épaisseur supérieure de 20%.

On admet que l'amplitude du tassement final est proportionnelle à l'épaisseur de la couche. De combien le bâtiment B aura-t-il tassé trois ans après sa construction ?

oOo

EXERCICE N° 6.

Un essai de compressibilité à l'oedomètre a été réalisé sur une éprouvette d'argile prélevée à 5m de profondeur dans une couche d'argile saturée homogène de poids volumique 16 kN/m^3 (la nappe est au niveau du terrain naturel). Le tableau suivant donne le tassement final mesuré sous chacune des charges appliquées à l'éprouvette :

σ_v (kPa)	5	15	30	45	60	80	150	300	500
Δh (mm)	0,1	0,3	0,5	0,7	0,1	1,4	2,5	3,7	4,2

L'indice des vides initial e_0 de l'argile est égal à 1,5; la hauteur initiale de l'éprouvette est 20 mm.

Déterminer la pression de consolidation σ'_p , l'indice de gonflement CS et l'indice de compression CC de l'argile.

La couche d'argile est-elle surconsolidée?

EXERCICE N° 9.

Un stockage de grandes dimensions applique à la surface du sol une charge verticale uniforme de 150 kPa. Le sol est constitué d'une couche de sable dense comportant deux niveaux argileux compressibles, de 5m d'épaisseur chacun, rencontrés respectivement à 12,5 m et 27,5 m de profondeur. La nappe est au niveau du terrain naturel.

Les poids volumiques des différentes couches et les caractéristiques oedométriques de l'argile sont indiqués sur la figure; on supposera que lors de l'application de la charge, les couches de sable tassent instantanément de 4 cm, globalement.

- * a) Calculer le tassement final de la surface du sol
- * b) Combien de temps après l'application de la charge obtient-on 50%, puis 90% du tassement de consolidation?
- * c) Tracer la courbe de tassement de la surface du sol au cours du temps

150 kPa

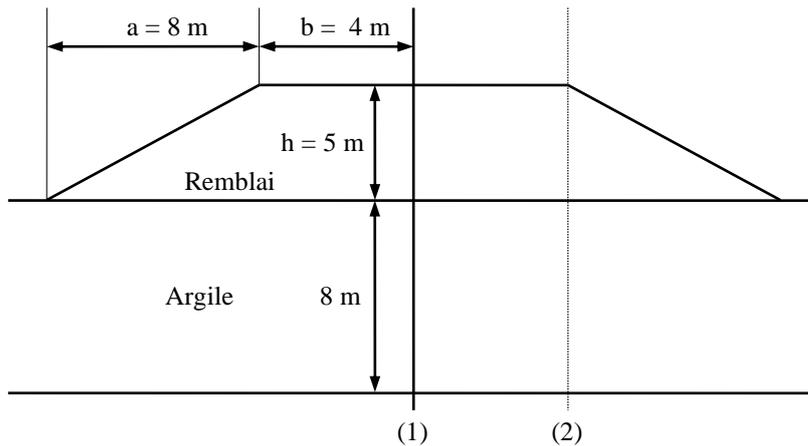
12,5m	Sable $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
5 m	Argile normalement consolidée $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $e_0=0,8$ $C_c=0,25$ $c_v=10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$
10 m	Sable $\gamma = 20$
5 m	Argile normalement consolidée $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$ $e_0=0,7$ $C_c=0,25$ $c_v=10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$
	Sable

EXERCICE N° 10.

Un remblai trapézoïdal est mis en place sur une couche de 8 m d'épaisseur d'argile saturée dont les caractéristiques sont: poids volumique $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$; indice des vides initial $e_0 = 0,7$; indice de compression $CC = 0,17$.

La nappe est au niveau du terrain naturel. Le matériau de remblai a un poids volumique $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ et les caractéristiques géométriques du remblai sont définies sur le schéma ci-dessous:

- * a) En utilisant l'abaque d'Osterberg, calculer et tracer, en fonction de la profondeur, le diagramme des contraintes verticales induites dans l'axe du remblai (verticale 1) et sous la crête du talus (verticale 2).
- * b) Calculer, pour ces deux verticales, le tassement théorique de la couche d'argile, en la supposant normalement consolidée.

**EXERCICE N°11.**

Un remblai de largeur à la base 30 m et de largeur en tête 12 m est construit sur une couche d'argile de 20 m d'épaisseur. L'argile a pour caractéristiques moyennes :

- $e_0 = 1,3 - 0,01z$ (z profondeur en mètres)
- $CC = 0,2$
- $\sigma'_{V0} = \sigma'_P$
- $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$

La nappe est au niveau du terrain naturel; la contrainte verticale appliquée par le remblai sur son axe vaut 100 kPa.

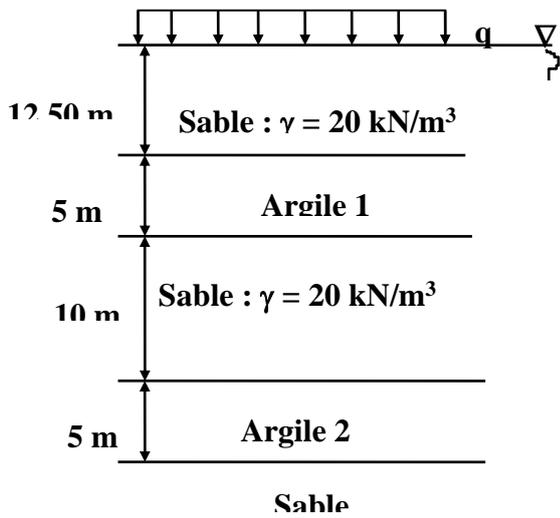
Calculer le tassement du sol sous l'axe du remblai et sous la crête du talus (on fera le calcul en divisant le sol de fondation en 5 couches de 4 m).

oOo

EXERCICE N°12.

Soit la coupe géotechnique représentée ci-dessous. On applique une charge uniformément répartie $q=150 \text{ kPa}$.

- * 1) Déterminer le tassement au centre de la zone chargée.
- * 2) Combien de temps après l'application de la charge, obtient-on 50%, 90% et 100% de consolidation.



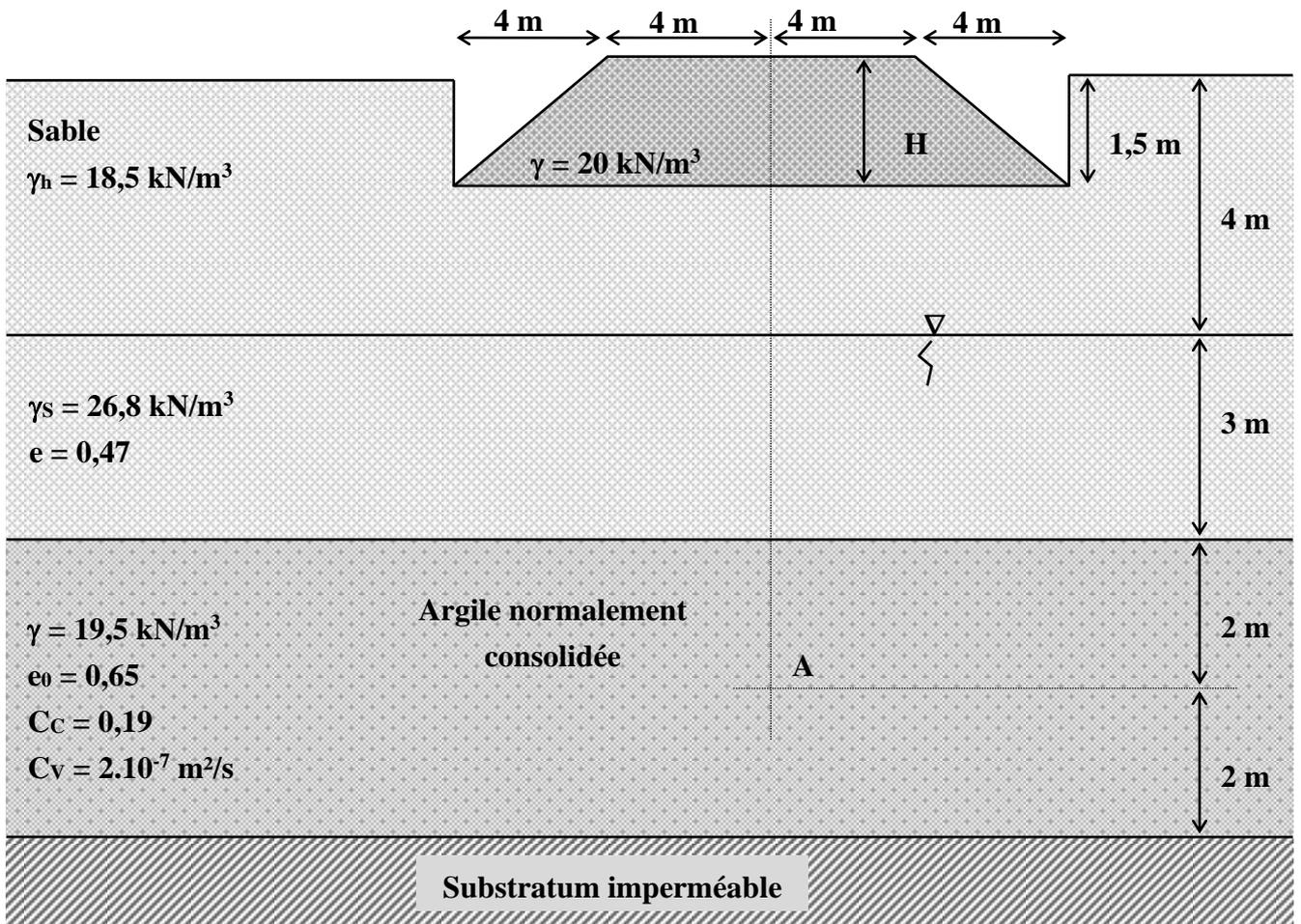
Caractéristiques de l'argile 1 et 2 :

- $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3$
- $w = 26\%$
- $C_v = 4.10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$
- $C_c = 0,25$

oOo

EXERCICE N°13.

- 1) Calculer la contrainte effective en A avant travaux (déblai + remblai).
- 2) Quelle est la hauteur maximale H_{\max} que le remblai peut atteindre avant que l'on observe un tassement dans la couche d'argile ?
- 3) $H = 6 \text{ m}$. Calculer le tassement total en A.
- 4) Calculer la contrainte effective en A au bout de 3 mois, un an.



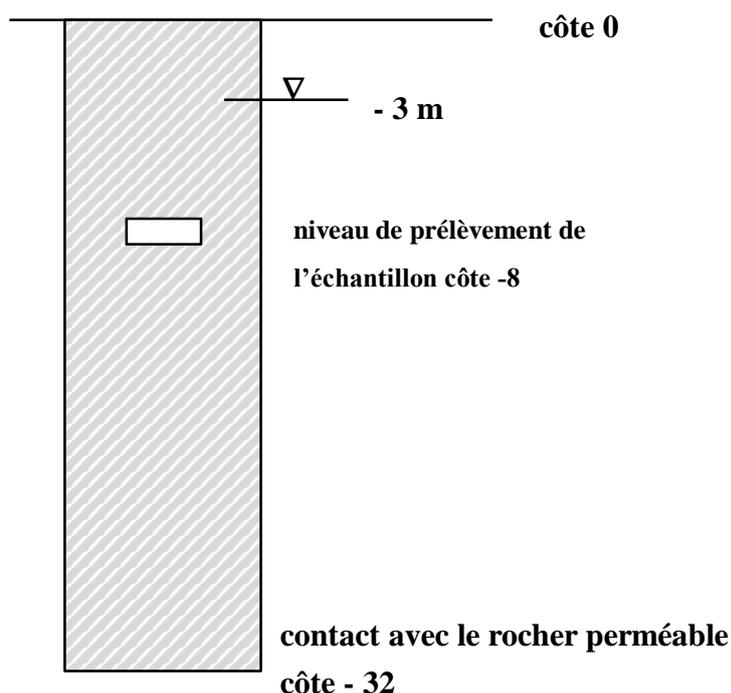
EXERCICE N°14.

On se propose d'étudier les tassements d'un ouvrage dont la surface d'appui au sol peut-être assimilée à un rectangle de dimensions 10m x 40m. La charge appliquée est considérée comme uniformément répartie de densité 80 kPa.

L'ouvrage est fondé en surface et la couche compressible a une épaisseur de 32 m. La nappe est à la côte - 3 m.

Un échantillon de sol prélevé à une profondeur de 8m est soumis à un essai oedométrique dont les résultats sont donnés par le tableau suivant :

CONTRAINTE NORMALE kPa	INDICE DES VIDES
10	0,594
20	0,591
40	0,587
80	0,584
160	0,572
320	0,554
640	0,536
160	0,544
40	0,550
10	0,559



- * **2.1)** Représentez la courbe oedométrique des variations de l'indice des vides en fonction du logarithme de la contrainte. En déduire le coefficient de compressibilité C_c , et la contrainte de préconsolidation.

En estimant les poids spécifiques du sol en fonction des données qui vous sont fournies et de votre expérience, pouvez vous dire si le terrain est surconsolidé, sous-consolidé ou normalement consolidé.

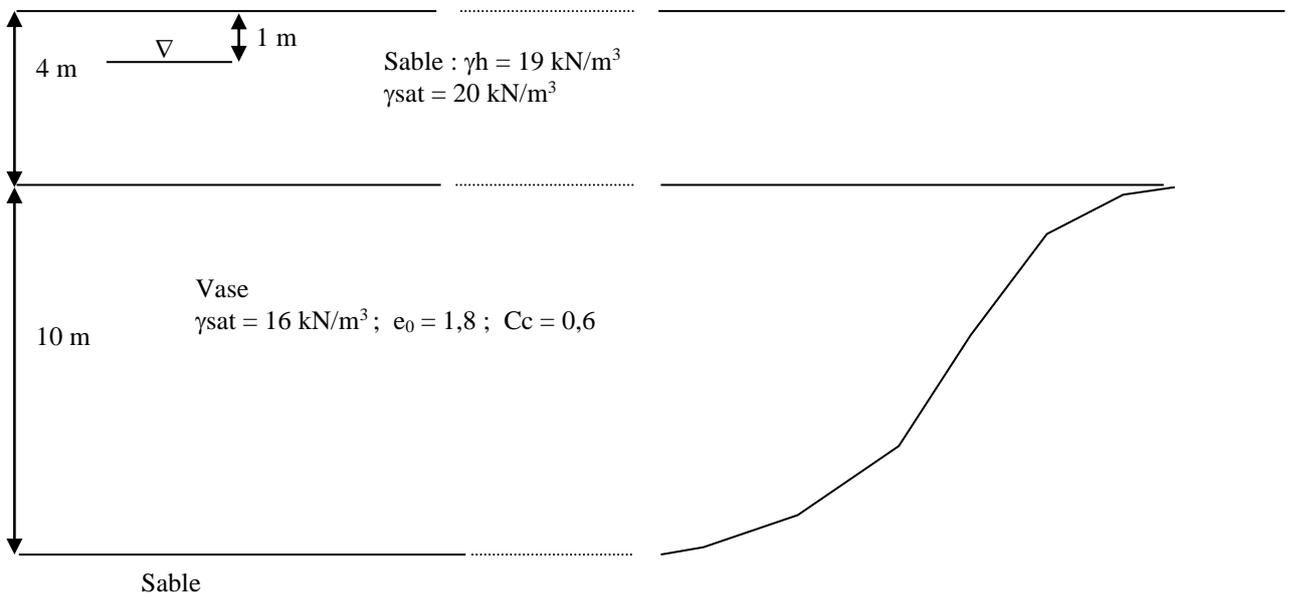
- * **2.2)** Estimez les tassements prévisibles en un angle du chargement prévu et au centre de ce chargement.
- * **2.3)** Si sur l'échantillon de 24 mm d'épaisseur, le temps estimé pour atteindre une consolidation de 50% est de 3,5 mn, quel est le temps prévisible pour que soit atteint, sur l'ouvrage réel, 90% des tassements.

EXERCICE N°15.

Une couche de vase normalement consolidée est comprise entre deux couches de sable. La nappe phréatique dans la couche de sable supérieure est à 1 m sous la surface du terrain naturel. A une certaine distance du site, la couche de vase disparaît et les deux couches de sable (inférieure et supérieure) se rejoignent.

Un pompage abaisse rapidement le niveau piézométrique de 2 m dans les couches de sable. Tracer, en fonction de la profondeur, les diagrammes des contraintes totales et effectives et des pressions interstitielles dans la couche de vase. Calculer le tassement de cette couche qui résulte de l'abaissement de la nappe.

Alors que la couche de vase a fini de tasser, on vient appliquer à la surface du sol une surcharge uniforme de 100 kPa. Calculer le tassement final de la couche de vase sous cette charge.



**TASSEMENTS - CONSOLIDATION
CORRECTION**
EXERCICE N° 1.a) Calcul du tassement dû au pompage.

1) On calcule la contrainte effective avant pompage en un point situé à la moitié de la couche compressible.

$$\sigma_M = \sigma'_M + u \Rightarrow \sigma'_M = \sigma - u$$

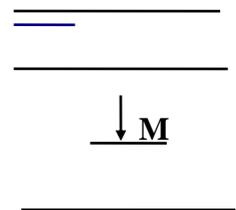
$$\sigma_M = 4 \cdot \gamma_{\text{sable}} + 5 \cdot \gamma_{\text{vase}} = (4 \times 20) + (5 \times 16) = 160. \text{ kPa}$$

$$u = \gamma_w \cdot (5 + 3) = 80. \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow \sigma'_M = \sigma_M - u = 160 - 80 = 80. \text{ kPa}$$

ou si l'on prend le poids volumique déjaugé :

$$\sigma'_M = \underbrace{[(1 \cdot \gamma_{\text{sable}}) + (\gamma_{\text{sable}} - \gamma_w) \cdot 3]}_{\text{dans la Couche de sable}} + \underbrace{[(\gamma_{\text{vase}} - \gamma_w) \cdot 5]}_{\text{dans la couche de vase}} = 80. \text{ kPa}$$

2) calcul de l'augmentation de contrainte $\Delta\sigma$

L'augmentation de contrainte est due au pompage donc à une diminution de la pression hydraustatique u au point M (la nappe s'abaissant de 1m) de valeur :

$$\Delta\sigma = -\Delta u = 1 \cdot \gamma_w = 10 \text{ kPa}$$

d'où le tassement Δh_c :

$$\Delta h_c = \frac{H_0}{1 + e_0} \cdot C_c \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma}{\sigma'_{v0}} = \frac{10}{1 + 0,7} \cdot 0,7 \cdot \log \frac{80 + 10}{80} = 0,21. \text{ m}$$

$$\Delta h_c = 21. \text{ cm}$$

b) Temps de consolidation

$$t_{10} : U = 10\% = 0,10 \Rightarrow Tv = 0,007 ; H=10\text{m (Chemin de drainage)}$$

$$t = \frac{H^2}{C_v} \cdot Tv = \frac{10^2}{8 \cdot 10^{-7}} \cdot 0,007 = \frac{0,0875 \cdot 10^7}{86400} = 10,13. \text{ jours}$$

$$t = 10. \text{ jours}$$

$$t_{50} : U = 50\% = 0,50 \Rightarrow Tv = 0,2 ; H = 10\text{m (Chemin de drainage)}$$

$$t = \frac{H^2}{C_v} \cdot Tv = \frac{10^2}{8 \cdot 10^{-7}} \cdot 0,2 = \frac{2,5 \cdot 10^7}{2,6 \cdot 10^6} = 9,6. \text{ mois}$$

$$t = 9. \text{ mois. et. } 18. \text{ jours}$$

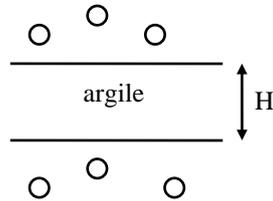
t_{90} : $U = 90\% = 0,90 \Rightarrow T_v = 0,82$; $H=10m$ (Chemin de drainage)

$$t = \frac{H^2}{C_v} \cdot T_v = \frac{10^2}{8 \cdot 10^{-7}} \cdot 0,82 = \frac{10,25 \cdot 10^7}{3,15 \cdot 10^7} = 3,25$$

soit $t = 3.ans.et.3.mois$

EXERCICE N° 2.

$$l = \frac{H}{2}$$



$$t = 100j \Rightarrow T_v = \frac{c_v \cdot t}{l^2} = \frac{10^{-7} \times 100 \times 24 \times 3600}{9} = 0,096 \Rightarrow \text{Lu sur l'abaque : } U = 35\%$$

$$\Delta h(100j) = U \cdot \Delta h(\infty) = 0,35 \cdot 0,60 \text{ soit } \Delta h(100j) = 21. \text{ cm}$$

$$t = 500j \Rightarrow T_v = \frac{c_v \cdot t}{l^2} = \frac{10^{-7} \times 500 \times 24 \times 3600}{9} = 0,48 \Rightarrow \text{Lu sur l'abaque : } U = 75\%$$

$$\Delta h(500j) = U \cdot \Delta h(\infty) = 0,75 \cdot 0,60 \text{ soit } \Delta h(500j) = 45. \text{ cm}$$

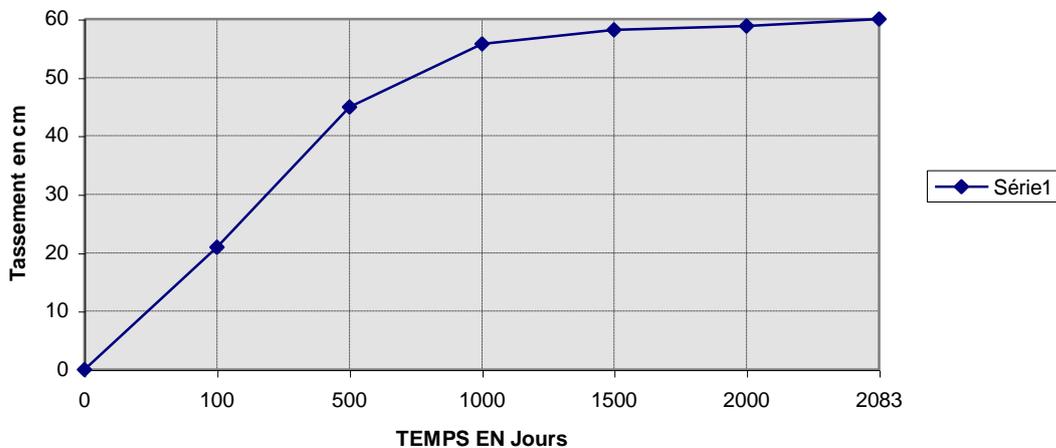
$$t = 1000j \Rightarrow T_v = \frac{c_v \cdot t}{l^2} = \frac{10^{-7} \times 1000 \times 24 \times 3600}{9} = 0,96 \Rightarrow \text{Lu sur l'abaque : } U = 93\%$$

$$\Delta h(1000j) = U \cdot \Delta h(\infty) = 0,93 \cdot 0,60 \text{ soit } \Delta h(1000j) = 56. \text{ cm}$$

Il atteindra son tassement final à :

$$U = 100\% \Rightarrow T_v = 2 \Rightarrow t(j) = \frac{T_v \cdot l^2}{C_v} = \frac{2 \cdot 9}{10^{-7}} = 2083j \text{ soit } 5ans.8mois.15jours$$

TASSEMENT EN FONCTION DU TEMPS



EXERCICE N° 3.

1) $l = 2H \Rightarrow TV = \frac{\alpha}{4H^2}$

6) $l = \frac{H}{2} \Rightarrow TV = \frac{16\alpha}{H^2}$

2) $l = H \Rightarrow TV = \frac{\alpha}{H^2}$

7) $l = 2H \Rightarrow TV = \frac{\alpha}{2H^2}$

3) $l = 2H \Rightarrow TV = \frac{\alpha}{4H^2}$

4) $l = \frac{H}{2} \Rightarrow TV = \frac{4\alpha}{H^2}$

8) $l = 2H \Rightarrow TV = \frac{\alpha}{H^2}$

5) $l = H \Rightarrow TV = \frac{\alpha}{H^2}$

9) $l = H \Rightarrow TV = \frac{4\alpha}{H^2}$

3 & 1 ; 7 ; 2 & 5 & 8 ; 4 & 9 ; 6

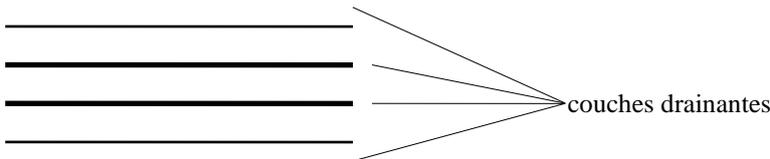
EXERCICE N° 4.

a) $\Delta H(3 \text{ ans}) = 8 \text{ cm} \Rightarrow U = 8/20 = 40\% \Rightarrow TV = 0,13$

$$t_1 = \frac{0,13H^2}{4 \times c_V} \Rightarrow (t_1 = 3 \text{ ans})$$

$$t_2 = \frac{0,13H^2}{c_V} \Rightarrow 4 \cdot t_1 = 12 \text{ ans}$$

b)



$$l = \frac{H}{6}$$

$$\Delta H_{\infty} = 20 \text{ cm} \quad t_3 = \frac{T_V H^2}{36 c_V} = \frac{t_1}{9} = 4 \text{ mois}$$

c) $C_c = 0,8C_{c1} \Rightarrow \Delta H_{\infty} = 16 \text{ cm}$

$$U = 50\% \Rightarrow TV = 0,2$$

$$t_4 = \frac{0,2H^2}{36 \times 0,7c_V} = \frac{0,2t_1}{9 \times 0,7 \times 0,13} = 8 \text{ mois et } 24 \text{ j}$$

EXERCICE N° 5.**Bâtiment A :**

$$U = \frac{\Delta H(3\text{ans})}{\Delta H_{\infty}} = 30\% \Rightarrow TV1 = 0,07 = \frac{c_v}{l^2} t$$

Bâtiment B :

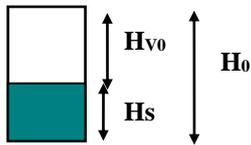
$$H_B = 1,2H_A \Rightarrow \Delta H_{B\infty} = 1,2\Delta H_{A\infty} = 12 \text{ cm}$$

$$t = 3 \text{ ans} \quad TV2 = \frac{c_v}{1,44l^2} t = \frac{TV1}{1,44} = 0,05 \Rightarrow U = 25\%$$

$$\Delta H(3 \text{ ans}) = 0,12U = 3 \text{ cm}$$

EXERCICE N° 6.

a)

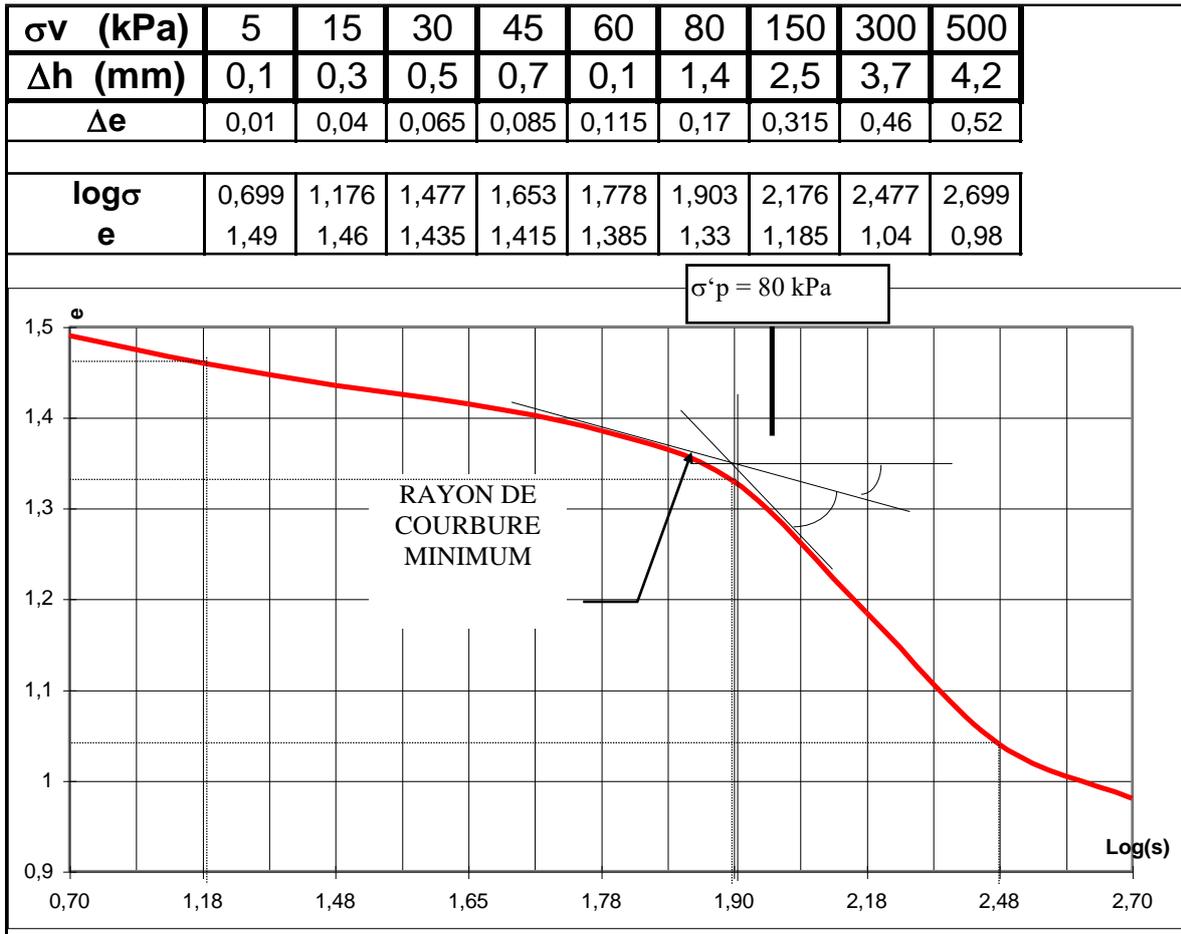


$$\begin{cases} e_0 = \frac{H_{v0}}{H_s} \Rightarrow H_{v0} = e_0 H_s \\ H_{v0} = H_0 - H_s \end{cases}$$

$$H_s = \frac{H_0}{1 + e_0} = 8 \text{ mm}$$

$$H_{v0} = 12 \text{ mm}$$

$$\Delta e = \frac{\Delta H}{H_s}$$



$$C_s = \frac{0,03}{1,18 - 0,7} = 0,0625$$

$$C_c = \frac{1,33 - 1,04}{2,48 - 1,90} = 0,5$$

Contrainte de préconsolidation : $\sigma'p = \frac{1}{\log \sigma'} = \frac{1}{\log 1,90} \approx 80. \text{kPa}$

Contrainte effective à 5 m : $\sigma'_{v0} = 5(\gamma - \gamma_w) = 30 \text{ kPa}$

$\sigma'_{v0} < \sigma'p \Rightarrow$ sol surconsolidé

EXERCICE N°7.

- a) 4 sous-couches
- 1 _____
 - 2 _____
 - 3 _____
 - 4 _____

Couche n°1

$$\sigma'0 = (16 - 10) * 1,5 = 9 \text{ kPa}$$

$$\Delta H_1 = \frac{H_0}{1 + e_0} C_C \text{Log} \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_0} \right) = \frac{3}{1 + 1,8} 0,7 \text{Log} \left(\frac{9 + 18}{9} \right) = 0,36 \text{m}$$

Couche n°2

$$\sigma'_0 = (16 - 10) \cdot 4,5 = 27 \text{ kPa}$$

$$\Delta H_2 = \frac{3}{2,8} 0,7 \text{Log} \left(\frac{27+18}{27} \right) = 0,17 \text{m}$$

Couche n°3

$$\sigma'_0 = 6 \cdot 7,5 = 45 \text{ kPa}$$

$$\Delta H_3 = 0,75 \text{Log} \left(\frac{45+18}{45} \right) = 0,11 \text{m}$$

Couche n°4

$$\sigma'_0 = 6 \cdot 10,5 = 63 \text{ kPa}$$

$$\Delta H_4 = 0,75 \text{Log} \left(\frac{63+18}{63} \right) = 0,08 \text{m}$$

$$\underline{\Delta H = 0,72 \text{ m}}$$

b) 2 sous-couchesCouche n°1

$$\sigma'_0 = 6 \cdot 3 = 18 \text{ kPa}$$

$$\Delta H_1 = 1,5 \text{Log} \left(\frac{18+18}{18} \right) = 0,45 \text{m}$$

Couche n°2

$$\sigma'_0 = 6 \cdot 9 = 54 \text{ kPa}$$

$$\Delta H_2 = 1,5 \text{Log} \left(\frac{54+18}{54} \right) = 0,19 \text{m}$$

$$\underline{\Delta H = 0,64 \text{ m}}$$

c) 1 couche

$$\sigma'_0 = 6 \cdot 6 = 36 \text{ kPa}$$

$$\Delta H = 3 \text{Log} \left(\frac{36+18}{36} \right) = 0,53 \text{m}$$

EXERCICE N° 8.Couche (1)

$$\sigma'_0 = 1 \cdot (19 - 10) = 9 \text{ kPa}$$

$$\Delta H_1 = \frac{2}{2} \times 0,05 \text{Log} \left(\frac{9+200}{50} \right) + \frac{2}{2} \times 0,5 \times \log \left(\frac{9+200}{50} \right) = 0,34 \text{ m}$$

Couche (2)

$$\sigma'_0 = 9 \times 2 + 2 \times 1,5 = 21 \text{ kPa}$$

$$\Delta H_2 = \frac{3}{6} \times 2,5 \text{Log} \left(\frac{21+200}{21} \right) = 1,28 \text{ m}$$

Couche (3)

$$\sigma'_0 = 2 \times 9 + 3 \times 2 + 2,5 \times 6 = 39 \text{ kPa}$$

$$\Delta H_3 = \frac{5}{2,6} \times 0,6 \text{Log} \left(\frac{39+200}{39} \right) = 0,91 \text{ m}$$

Couche (4)

$$\sigma'_0 = 2 \times 9 + 3 \times 2 + 5 \times 6 + 2 \times 7 = 68 \text{ kPa}$$

$$\Delta H_4 = \frac{4}{2,3} \times 0,5 \text{Log} \left(\frac{68+200}{68} \right) = 0,52 \text{ m}$$

$$\Delta H = 3,05 \text{ m}$$

EXERCICE N° 9.a) Couche n°1

$$\sigma'_0 = 12,5 \times 10 + 2,5 \times 8 = 145 \text{ kPa}$$

$$\Delta H_1 = \frac{5}{1,8} \times 0,25 \text{Log} \left(\frac{145+150}{145} \right) = 0,21 \text{ m}$$

Couche n°2

$$\sigma'_0 = 12,5 \times 10 + 5 \times 8 + 10 \times 10 + 2,5 \times 9 = 287,5 \text{ kPa}$$

$$\Delta H_2 = \frac{5}{1,7} \times 0,25 \text{Log} \left(\frac{287,5+150}{287,5} \right) = 0,13 \text{ m}$$

$$\Delta H = 0,21 + 0,13 + 0,04 = 0,38 \text{ m}$$

b) 50% du tassement => $\Delta H_{50} = 0,19 \text{ m}$

$$\text{D'où } \Delta H_{\text{argile}} = 0,15 \text{ m}$$

$$\Rightarrow U = \frac{0,15}{0,34} = 44\% \Rightarrow T_V = 0,15$$

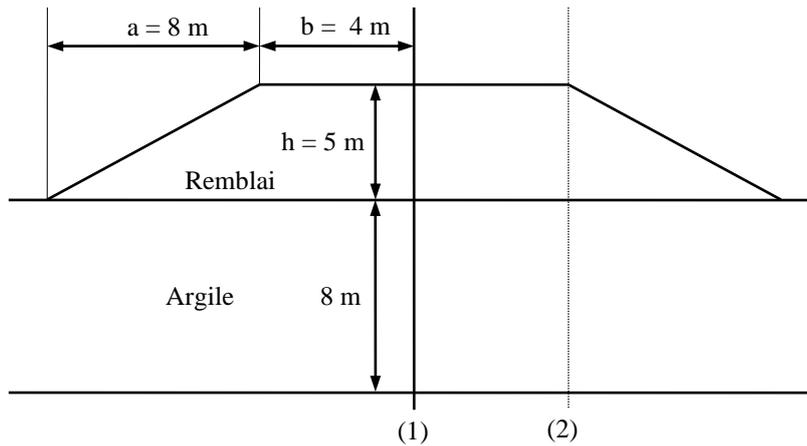
$$t = \frac{T_V l^2}{c_V} = \frac{0,15 \times 25}{4 \times 10^{-8}} \cong 3 \text{ ans}$$

$$\Delta H_{90} = 0,34 \text{ m} \Rightarrow \Delta H_{\text{argile}} = 0,30 \text{ m}$$

$$U = \frac{30}{34} = 88\% \Rightarrow T_V = 0,75$$

$$t = \frac{0,75 \times 25}{4 \cdot 10^{-8}} = 14 \text{ans } 10 \text{mois}$$

oOo

EXERCICE N° 10.**a) Verticale (1)**

$$\Delta\sigma = 2Iq$$

$$z = 0 \quad \Delta\sigma(0) = 2 \cdot 0,5 \cdot q = 5 \cdot 20 = 100 \text{ kPa}$$

$$z = 8 \text{ m} \quad \frac{a}{z} = 1 \quad \frac{b}{z} = 0,5$$

$$\Delta\sigma(8) = 2 \cdot 0,4 \cdot 100 = 80 \text{ kPa}$$

Verticale (2)

$$\Delta\sigma = (I_1 + I_2)q$$

$$z = 0 \quad \Delta\sigma(0) = (0,5 + 0,5) \cdot 100 = 100 \text{ kPa}$$

$$z = 8 \text{ m} \quad \left. \begin{array}{l} \frac{a_1}{z} = 1 \\ \frac{b_1}{z} = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow I_1 = 0,455 \quad \left. \begin{array}{l} \frac{a_2}{z} = 1 \\ \frac{b_2}{z} = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow I_2 = 0,25$$

$$\Delta\sigma(8) = (0,455 + 0,25) \cdot 100 = 70,5 \text{ kPa}$$

b) Verticale (1)

$$\sigma'_0 = 4 \cdot 10 = 40 \text{ kPa}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{a}{z} = 2 \\ \frac{b}{z} = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow I = 0,465$$

$$\Delta\sigma = 0,465 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 20 = 93 \text{ kPa}$$

$$\Delta H = \frac{8}{1,7} 0,17 \text{Log} \left(\frac{93+40}{40} \right) = 0,42 \text{m}$$

Verticale (2)

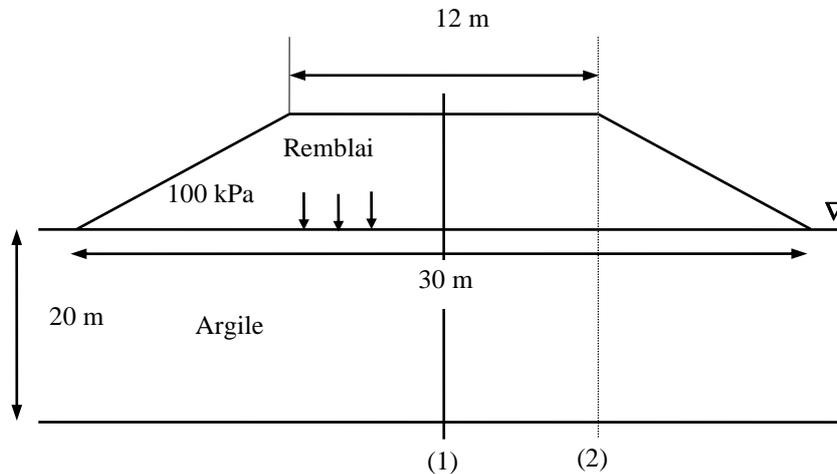
$$\sigma'0 = 40 \text{ kPa}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{a_1}{z} = 2 \\ \frac{b_1}{z} = 2 \end{array} \right\} \Rightarrow I_1 = 0,49 \quad \left. \begin{array}{l} \frac{a_2}{z} = 2 \\ \frac{b_2}{z} = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow I_2 = 0,35$$

$$\Delta\sigma = (0,35 + 0,49) * 20 * 5 = 84 \text{ kPa}$$

$$\Delta H = \frac{8}{1,7} 0,17 \text{Log} \left(\frac{84+40}{40} \right) = 0,39 \text{m}$$

oOo

EXERCICE N° 11.**a) Calcul au niveau de l'axe****Couche n°1 (couche supérieure)**

$$\sigma'0 = 2 * 6 = 12 \text{ kPa}$$

$$\left. \begin{array}{l} a = 15 - 6 = 9 \\ b = 6 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{a}{z} = 4,5 \\ \frac{b}{z} = 3 \end{array} \right\} \Rightarrow I = 0,5 \Rightarrow \Delta\sigma = 100 \text{ kPa}$$

$$\Delta H_1 = \frac{4}{2,28} 0,2 \text{Log} \left(\frac{100+12}{12} \right) = 0,34 \text{m}$$

Couche n°2

$$\sigma'0 = 6 * 6 = 36 \text{ kPa}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{a}{z} = 1,5 \\ \frac{b}{z} = 1 \end{array} \right\} I = 0,465 \Rightarrow \Delta\sigma = 93 \text{ kPa}$$

$$\Delta H_2 = \frac{4}{2,24} 0,2 \text{Log} \left(\frac{93+36}{36} \right) = 0,20 \text{m}$$

Couche n°3

$$\sigma'_{v0} = 10 \cdot 6 = 60 \text{ kPa}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{a}{z} = 0,9 \\ \frac{b}{z} = 0,6 \end{array} \right\} I = 0,405 \Rightarrow \Delta\sigma = 81 \text{kPa}$$

$$\Delta H_3 = \frac{4}{2,2} 0,2 \text{Log} \left(\frac{81+60}{60} \right) = 0,13 \text{m}$$

Couche n°4

$$\sigma'_{v0} = 14 \cdot 6 = 84 \text{ kPa}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{a}{z} = 0,64 \\ \frac{b}{z} = 0,43 \end{array} \right\} I = 0,35 \Rightarrow \Delta\sigma = 70 \text{kPa}$$

$$\Delta H_4 = \frac{4}{2,16} 0,2 \text{Log} \left(\frac{70+84}{84} \right) = 0,10 \text{m}$$

Couche n°5

$$\sigma'_{v0} = 18 \cdot 6 = 108 \text{ kPa}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{a}{z} = 0,5 \\ \frac{b}{z} = 0,33 \end{array} \right\} I = 0,30 \Rightarrow \Delta\sigma = 60 \text{kPa}$$

$$\Delta H_5 = \frac{4}{2,12} 0,2 \text{Log} \left(\frac{60+108}{108} \right) = 0,07 \text{m}$$

$$\Delta H_{\infty} = 0,84 \text{ m}$$

oOo

EXERCICE N°12.1) Tassement total

$$\text{L'expression du tassement est : } \Delta H = \frac{H_0}{1 + e_0} \cdot Cc \cdot \text{Log} \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma}{\sigma'_{v0}}$$

Il faut connaitre e_0 de l'argile saturée

Des caractéristiques de l'argile on connait :

$$\gamma = \frac{W}{V} = 20. \text{kN} / \text{m}^3; \gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = 27. \text{kN} / \text{m}^3; \omega = \frac{W_w}{W_s} = 0,26$$

On cherche : $e_0 = \frac{V_v}{V_s}$

$w \cdot \gamma_s$	EAU	$\frac{\omega \cdot \gamma_s}{\gamma_w}$	$e_0 = \frac{\omega \cdot \gamma_s}{\gamma_w} = \frac{0,26 \times 27}{10} = 0,702$
	SOLIDE	γ_w	
γ_s		1	

Tassement dans la première couche d'argile

Calcul de σ'_{v0} au centre de la 1ère couche d'argile :

$$\sigma'_{v0} = (\gamma'_{\text{sable}} \cdot h1_{\text{sable}}) + \left(\gamma'_{\text{argile}} \cdot \frac{h1_{\text{argile}}}{2} \right)$$

$$\sigma'_{v0} = (10 \times 12,50) + (10 \times 2,5) = 150. \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma = 150. \text{ kPa}$$

$$\Delta H_1 = \frac{5}{1 + 0,702} \cdot 0,25 \cdot \text{Log} \frac{150 + 150}{150} \text{ soit } \Delta H_1 = 0,221. \text{ m}$$

Tassement dans la deuxième couche d'argile

Calcul de σ'_{v0} au centre de la 2ème couche d'argile :

$$\sigma'_{v0} = (\gamma'_{\text{sable}} \cdot h1_{\text{sable}}) + (\gamma'_{\text{argile}} \cdot h1_{\text{argile}}) + (\gamma'_{\text{sable}} \cdot h2_{\text{sable}}) + \left(\gamma'_{\text{argile}} \cdot \frac{h2_{\text{argile}}}{2} \right)$$

$$\sigma'_{v0} = (10 \times 12,50) + (10 \times 5) + (10 \times 10) + (10 \times 2,5) = 300. \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma = 150. \text{ kPa}$$

$$\Delta H_2 = \frac{5}{1 + 0,702} \cdot 0,25 \cdot \text{Log} \frac{300 + 150}{300} \text{ soit } \Delta H_2 = 0,129. \text{ m}$$

SOIT UN $\Delta H_{\text{Total}} = 0,35. \text{ m}$

2) temps de consolidation

a) U = 50%

$$\Rightarrow TV = 0,2 = \frac{C_v \cdot t}{H^2} \text{ avec } H = 2,50 \text{ m (drainé des deux côtés).}$$

$$\Rightarrow t = \frac{TV \cdot H^2}{C_v} = \frac{0,2 \times 2,5^2}{4 \cdot 10^{-8}} = 0,3125 \cdot 10^8 \cdot \text{secondes} \text{ soit } t = \frac{0,3125 \cdot 10^8}{3,15 \cdot 10^7} \approx 1 \text{ an}$$

b) U = 90%

$$\Rightarrow TV = 0,83 = \frac{C_v \cdot t}{H^2} \text{ avec } H = 2,50 \text{ m (drainé des deux côtés).}$$

$$\Rightarrow t = \frac{T_V \cdot H^2}{C_v} = \frac{0,83 \times 2,5^2}{4,10^{-8}} = 1,297 \cdot 10^8 \text{ .secondes soit } t = \frac{1,297 \cdot 10^8}{3,15 \cdot 10^7} \approx 4 \text{ans.1mois.12jours}$$

c) U = 100%

$$\Rightarrow TV = 2 = \frac{C_v \cdot t}{H^2} \text{ avec } H = 2,50 \text{ m (drainé des deux côtés).}$$

$$\Rightarrow t = \frac{T_V \cdot H^2}{C_v} = \frac{2 \times 2,5^2}{4,10^{-8}} = 3,125 \cdot 10^8 \text{ .secondes soit } t = \frac{3,125 \cdot 10^8}{3,15 \cdot 10^7} \approx 10 \text{ans}$$

oOo

EXERCICE N°13.

1) Avant travaux :

$$\gamma' = \frac{1}{1+e}(\gamma_s - \gamma_w) \quad \text{et} \quad \gamma_{\text{sat}} = \gamma' + \gamma_w$$

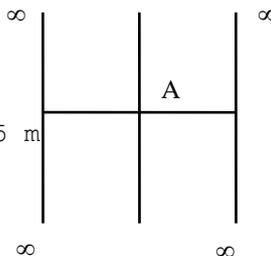
$$\text{en A : } \sigma'_0 = 4\gamma_{\text{sable}} + \frac{1}{1+e}(\gamma_{s(\text{sable})} - \gamma_w) * 3 + 2(\gamma_{\text{sat}(\text{argile})} - \gamma_w)$$

$$\sigma'_0 = 4 * 18,5 + \frac{1}{1+0,47}(26,8 - 10) * 3 + 2(19,5 - 10) = \mathbf{127,3 \text{ kPa}}$$

2) Hauteur maximale du remblai avant tassement dans l'argile

L'argile étant normalement consolidée, elle subit un tassement dès qu'on lui applique une contrainte supplémentaire. Pour qu'il y ait tassement il faut donc que le $\Delta\sigma$ dû au remblai soit supérieur au $\Delta\sigma$ dû au déblai.

Calcul du $\Delta\sigma$ dû au déblai :



$$a = 8 \text{ m} \quad b = \infty \quad z = 7,5 \text{ m}$$

$$a/z = 1,07$$

$$\text{d'où } K = 0,205$$

$$\Delta\sigma_1 = -4Kq = -4 * 0,205 * 18,5 * 1,5$$

$$\Delta\sigma_1 = \mathbf{-22,8 \text{ kPa}}$$

Calcul du $\Delta\sigma$ dû au remblai :

$$a = 4 \text{ m} \quad b = 4 \text{ m} \quad z = 7,5 \text{ m} \quad a/z = b/z = 0,53 \quad \text{d'où } K = 0,37$$

$$\Delta\sigma_2 = 2K \cdot q = 2 * 0,37 * 20 * H = \mathbf{14,8 \cdot H}$$

$$\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 = 0 \Rightarrow 14,8 \cdot H = 22,8$$

$$\mathbf{H = 1,55 \text{ m}}$$

3) H = 6 m

$$\Delta\sigma \text{ dû au remblai : } \Delta\sigma_2 = 14,8 \cdot H = 14,8 * 6 = 88,8 \text{ kPa}$$

L'argile est **normalement consolidée** donc $\sigma'_c = \sigma'_0$

$$\text{d'où } \Delta H = \frac{H_0}{1+e_0} C_C \text{Log} \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_C} \right) = \frac{4}{1+0,65} \times 0,19 \text{Log} \left(\frac{127,3 - 22,8 + 88,8}{127,3} \right)$$

$$\Delta H = 8,4 \text{ cm}$$

4) Contrainte effective en A :

a) t = 3 mois

$$C_v = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \text{s}^{-1} \quad T_v = \frac{C_v}{H^2} t = \frac{2 \cdot 10^{-7}}{4^2} \times 91 \times 24 \times 60 \times 60 = 0,098$$

$$\text{d'où } U\% = 35\% \quad \text{or } U = \frac{\Delta H(t)}{\Delta H_T} \quad \Rightarrow \quad \Delta H(t) = \Delta H_T \cdot U = 8,35 \cdot 10^{-2} \cdot 35/100 = 2,9 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{On a de plus, } \Delta H(t) = \frac{H_0}{1+e_0} C_C \text{Log} \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_C} \right)$$

$$\text{d'où } \sigma'_0 + \Delta\sigma = 10^{\frac{\Delta H(t)(1+e_0)}{H_0 C_C}} \cdot \sigma'_0$$

La contrainte effective en A est donc : $\sigma'_0 + \Delta\sigma = 147,2 \text{ kPa}$

b) t = 1 an

$$T_v = 0,393 \quad U\% = 67\% \quad \Delta H(1\text{an}) = \frac{8,35 \cdot 10^{-2} \times 67}{100} = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\sigma'_0 + \Delta\sigma = 168,4 \text{ kPa}$$

oOo

EXERCICE N°14.

1) Représentation graphique

Le diagramme oedométrique est tracé ci-dessous. La contrainte de préconsolidation qui peut y être lue est d'environ 110 kPa et le coefficient de compressibilité est de :

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}} = \frac{0,572 - 0,536}{\log 640 - \log 160} = 0,06$$

Si le poids spécifique des grains solides est de 27 kPa et l'indice des vides d'environ 0,55 le poids spécifique sec du matériau est de :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e_0} = \frac{27}{1+0,55} = 17,4 \text{ kPa}$$

Pour une teneur en eau de 15%, le poids volumique humide sera de :

$$\gamma_h = \gamma_d \cdot (1 + \omega) = 17,4 \cdot 1,15 \approx 20 \text{ kN/m}^3$$

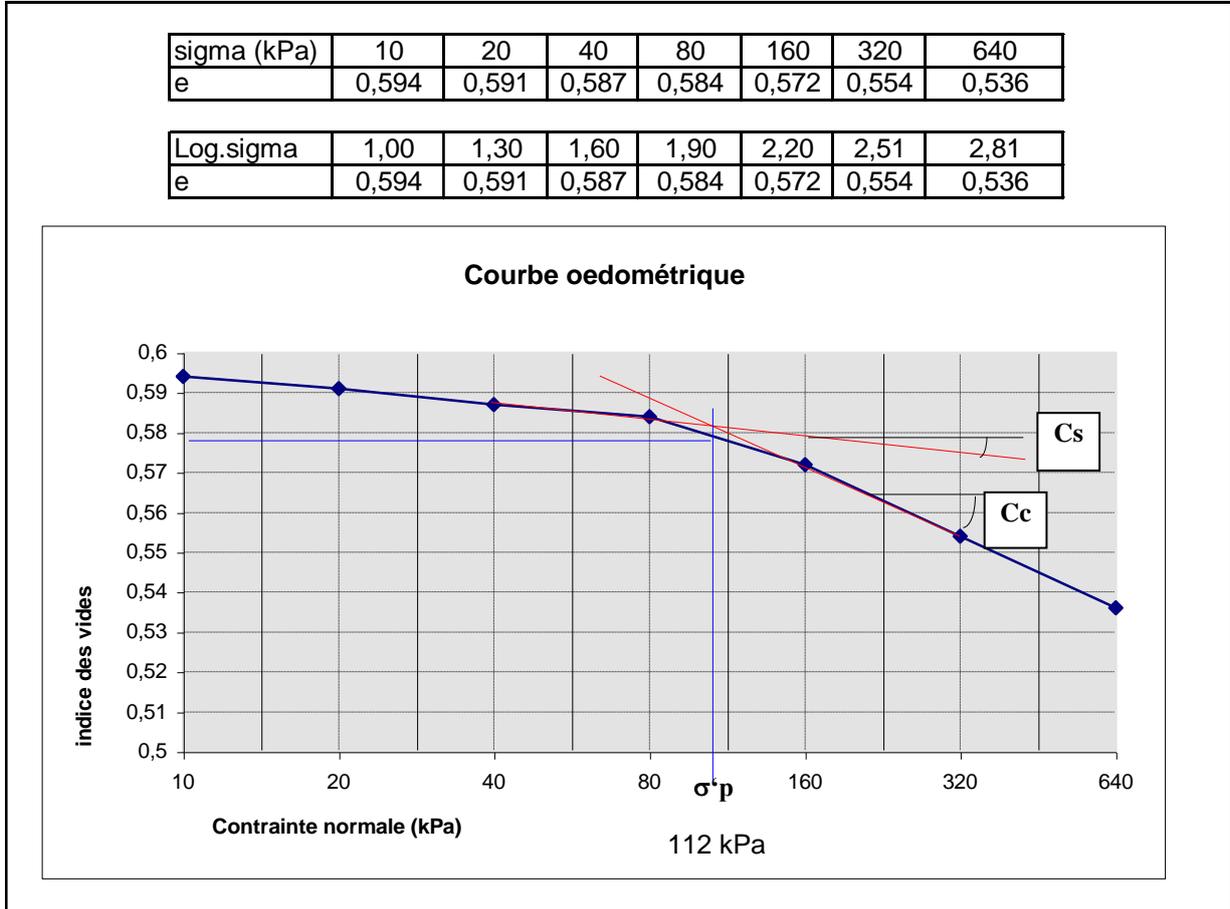
Le poids volumique du sol saturé est de :

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{\gamma_s + \gamma_w x e_0}{1 + e_0} = \frac{27 + 10 \times 0,55}{1,55} \approx 21. \text{kN} / \text{m}^3$$

La contrainte effective à 8 m de profondeur est de :

$$\sigma'_{v0} = 3 \times 20 + 5 \times (21 - 10) = 115. \text{kPa}$$

Le sol peut être considéré comme **Normalement Consolidé**.



2) Tassement dans un angle du rectangle

Répartition des contraintes

NIVEAU	σ'_{i} $\sum \gamma'_i \cdot H_i / 2$	K Fct.B,L	$\Delta\sigma$ q.I	σ'_{f} $\sigma'_{i} + q.I$	$\Delta e \times 10^3$ $Cc \times \log \frac{\sigma'_{f}}{\sigma'_{i}}$	ΔH_i (mm) $\frac{\Delta e}{1 + e_0} \times H_i$
0 - 5	50	0,248	19,84	69,84	8,7	28,1
5 - 10	109,5	0,224	17,92	127,42	3,9	12,7
10 - 20	192	0,166	13,28	205,28	1,7	11,2
20 - 32	313	0,107	8,56	321,56	0,7	5,4
Tassement total						57,4

Tassement au centre du rectangle

Répartition des contraintes

NIVEAU	σ'_i $\Sigma \gamma'_i \cdot H_i / 2$	K Fct.B,L	$\Delta\sigma$ q.Ix4	σ'_f $\sigma'_i + q.I$	$\Delta e \times 10^3$ $C_{cx} \log \frac{\sigma'_f}{\sigma'_i}$	ΔH_i (mm) $\frac{\Delta e}{1+e_0} \times H_i$
0 - 5	50	0,240	76,8	126,8	24,25	78,22
5 - 10	109,5	0,166	53,12	162,628	10,30	33,23
10 - 20	192	0,093	29,76	221,76	3,75	24,20
20 - 32	313	0,048	15,36	328,36	1,25	9,68
Tassement total						145,33

Les tassements au centre du rectangle sont plus du double que ceux constatés dans un angle.

3) Temps estimé pour atteindre une consolidation de 90%.

Echantillon :

$$TV_1 = \frac{C_v \cdot t_1}{H_1^2} \text{ avec } U = 50\% \Rightarrow TV_1 = 0,197 ; t_1 = 3,5 \text{ mn} ; H_1 = 24 \text{ mm}$$

Sol réel :

$$TV_2 = \frac{C_v \cdot t_2}{H_2^2} \text{ avec } U = 90\% \Rightarrow TV_2 = 0,848 ; t_2 = ? ; H_2 = 32.000 \text{ mm}$$

soit puisque C_v est identique :

$$t_2 = \frac{TV_2}{TV_1} \times \frac{H_2^2}{H_1^2} \times t_1 = \frac{0,848}{0,197} \times \left(\frac{32000}{24} \right)^2 \times 3,5 \times 60 = 1607038916 \text{ sec ondes}$$

$t_2 = \frac{1607038916}{3,15 \times 10^7} = 51 \text{ ans}$
--