

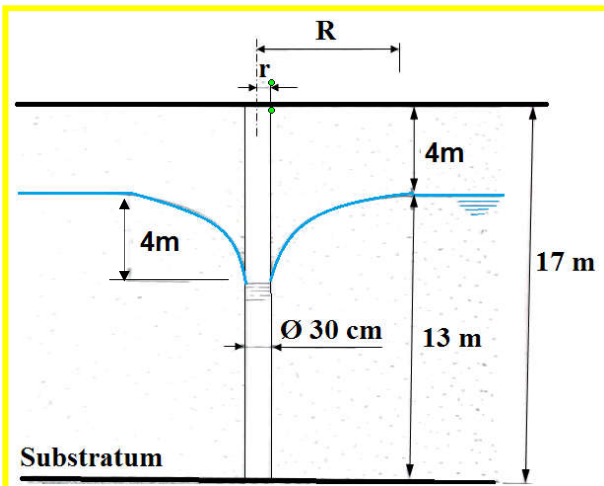
**Question de cours (8 points) :**

1. Quelles sont les types de l'eau dans le sol ? Donnez une explication succincte de chaque type ?  
1. ما هي أصناف الماء في التربة مع تقديم شرح موجز لكل نوع ؟
2. Donnez une définition de la perméabilité du sol, et quelles sont ses hypothèses de mesure ?  
2. عرف نفاذية التربة وما هي فرضيات قياسها ؟
3. Pourquoi l'écoulement de l'eau dans le sol résulte une perte de charge, et par quel paramètre elle est représentée ?  
3. لماذا يؤدي تدفق المياه في التربة إلى انخفاض الشحنة ، وما هي المعلمة التي تمثلها ؟
4. Quels sont les paramètres qui influent sur l'écoulement de l'eau dans le sol ?  
4. ما هي المعايير التي تؤثر على تدفق المياه في التربة ؟
5. Qu'est-ce qu'une contrainte effective ?  
5. ما هو الإجهاد الفعال ؟
6. Citez les effets d'un écoulement ascendant et d'un écoulement descendant sur la valeur de la contrainte effective  
6. أذكر تأثيرات التدفق الصاعد والنازل على قيمة الإجهاد الفعال
7. Quelle sont les essais qui permettent de mesurer la perméabilité ?  
7. ما هي التجارب التي تقيس النفاذية ؟

**Exercice 01(5points) :**

Un essai de pompage a été exécuté dont les conditions sont comme présenté dans la figure ci-dessous. Après 24h l'écoulement est supposé permanent, le débit pompé est  $6 \text{ m}^3/\text{h}$ , l'abaissement de la nappe est 4m. La porosité du sol est  $n=32\%$

1. Évaluez le rayon d'action R et le coefficient moyen de perméabilité du terrain K.



تم إجراء تجربة الضخ في الشروط المبينة في الشكل أدناه. بعد مرور 24 ساعة ، نعتبر أن التدفق دائماً ، ويكون معدل تدفق الضخ هو  $6 \text{ m}^3/\text{h}$  ، بينما يكون انخفاض منسوب المياه بمقدار 4 أمتار. مسامية التربة (n) تقدر بـ 30%

1. قم بتقييم نصف قطر التشغيل R و معامل النفاذية المتوسط للتربة K.

## Exercice 02 (7 points) :

Une semelle carrée repose sur un bicouche dont leurs caractéristiques géométriques sont représentées dans la figure ci-dessous. La fondation exerce sur le sol une contrainte uniforme de 120 kPa. On demande de:

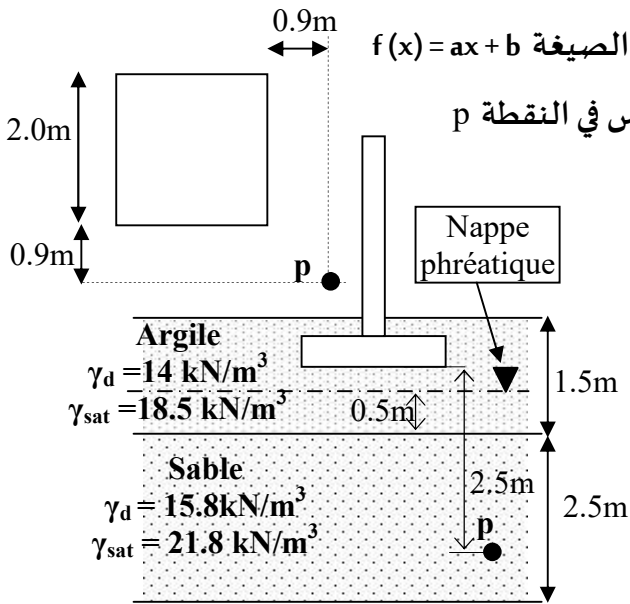
- 1- Calculer le coefficient de perméabilité équivalent des deux couches sachant que  $K_1 = 0.2 \cdot 10^{-3}$  cm/s et  $K_2 = 3.4 \cdot 10^{-3}$  cm/s
- 2- Écrire et de représenter les équations de contrainte ( $\sigma_v$ ,  $\sigma'_v$ ,  $U$ ) forme  $f(x) = ax+b$ ,
- 3- Calculer la contrainte totale effective due au sol et à la semelle dans le point m

يستند أساس مربعة على تربة مكونة من طبقتين تم تمثيل خصائصهما الهندسية في الشكل أدناه. الأساس يمارس على التربة ضغط منتظم يقدر بـ 120 كيلوباسكال. نطلب:

1- حسب معامل النفاذية المكافئ للطبقتين علماً أن  $K_1 = 0.2 \cdot 10^{-3}$  cm/s و  $K_2 = 3.4 \cdot 10^{-3}$  cm/s

2- كتابة وتمثيل البياني لمعادلات الإجهادات ( $U$ ,  $\sigma'_v$ ,  $\sigma_v$ ) من الصيغة  $f(x) = ax + b$

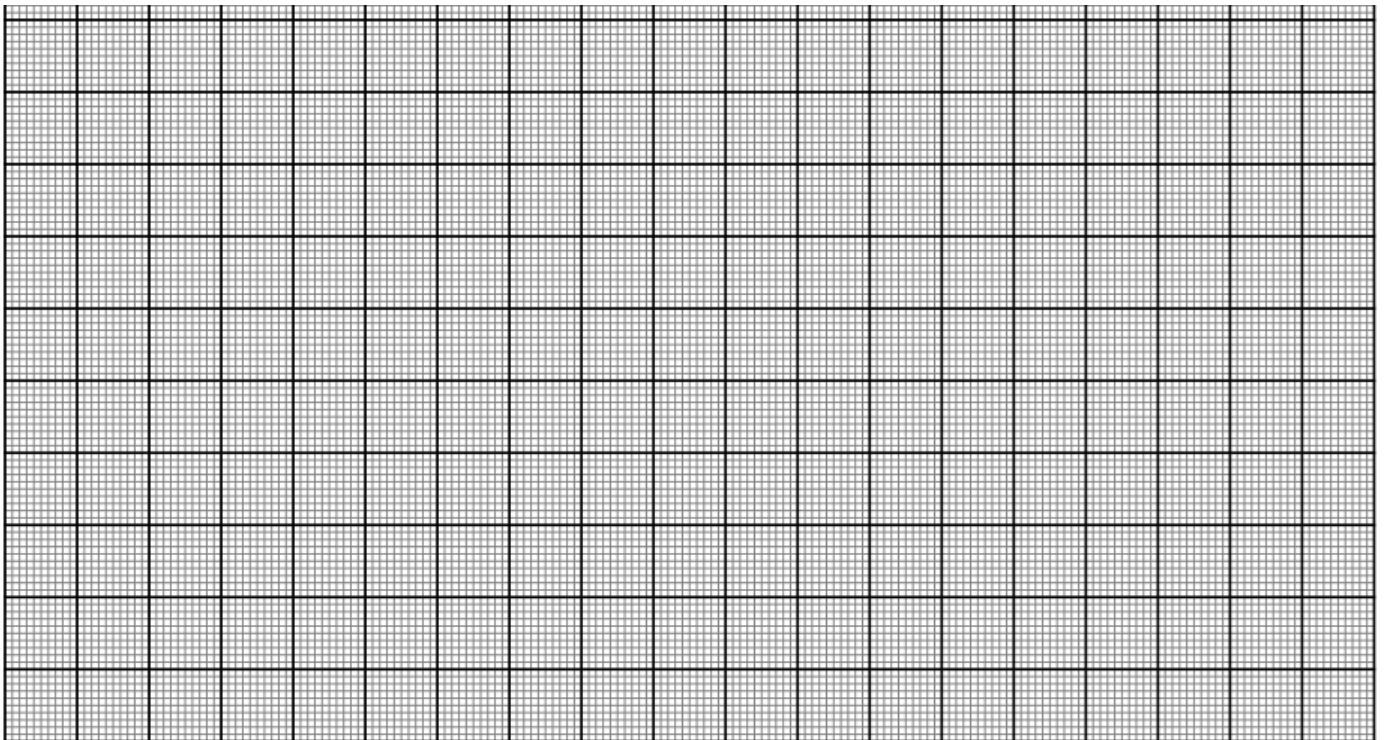
3- حسب الإجهاد الفعال الكلي الناتج عن طبقات التربة والأساس في النقطة p



Nom : .....

Prénom : .....

Groupe : .....



## Question de cours (8 points) :

1. Quelles sont les types de l'eau dans le sol ? Donnez une explication succincte de chaque type ?

2.00

1. ما هي أصناف الماء في التربة مع تقديم شرح موجز لكل نوع ؟

1. Eau de constitution (0.25)

2. Eau adsorbée (0.25)

3. Eau interstitielle (0.25)

➤ Eau libre (eau gravitaire) (0.25)

➤ Eau capillaire (eau hydrique) (0.25)

- Eau de constitution : c'est l'eau de cristallisation Exemple : gypse ( $\text{SO}_4\text{Ca}, 2\text{H}_2\text{O}$ ) , (0.25)

- Eau adsorbée : c'est l'eau de mouillage des grains solides. Elle est fixée à la surface de ceux-ci en formant un film mince, (0.25)

- Eau interstitielle : l'eau interstitielle remplit les interstices (les vides) formés par les grains solides. On distingue deux types : une eau libre qui circule dans les vides et une eau capillaire liée aux particules de sol par des forces d'attractions (d'adhésion). (0.25)

2. Donnez une définition de la perméabilité du sol, et quelles sont ses hypothèses de mesure ?

1.00

2. عرف نفاذية التربة و ما هي فرضيات قياسها ؟

La perméabilité est la capacité d'un sol à laisser passer l'eau à travers ses interstices. (0.25)

Les hypothèses de calcul sont :

- le sol doit-être saturé. (0.25)

- l'eau et les grains sont supposés incompressibles. (0.25)

- la phase liquide est continue. (0.25)

3. Pourquoi l'écoulement de l'eau dans le sol résulte une perte de charge, et par quel paramètre elle est représentée ? 1.00

3. لماذا يؤدي تدفق المياه في التربة إلى انخفاض الشحنة ، وما هي المعلمة التي تمثلها؟

- La perte de charge est le résultat du frottement exercé par l'eau sur les particules du sol. (0.5)

- Le paramètre qui représente la perte de charge est appelé le gradient hydraulique  $i = \Delta h / l$  (0.5)

4. Quels sont les paramètres qui influent sur l'écoulement de l'eau dans le sol ?

1.00

4. ما هي المعايير التي تؤثر على تدفق المياه في التربة؟

- la granulométrie, (forme, minéralogie, texture et distribution des particules) (0.25)

- la viscosité dynamique et température de l'eau (0.25)

- l'indice des vides (e) et la porosité (n) du sol (0.25)

- Degré de saturation ( $S_r$ ) (0.25)

5. Qu'est-ce qu'une contrainte effective ?

1.00

5. ما هو الإجهاد الفعال ؟

Appelée aussi **contrainte inter-granulaire**, c'est la contrainte dû au squelette solide du sol. Celle-ci diminue en présence de la nappe par l'effet de **la poussée d'Archimède**, elle est calculée au moyen du poids volumique déjaugé.  $\sigma' = \gamma' \cdot h = \sigma - u$

1.0

6. Citez les effets d'un écoulement ascendant et d'un écoulement descendant sur la valeur de la contrainte effective

1.00

6. أذكر تأثيرات التدفق الصاعد والنازل على قيمة الإجهاد الفعال

**Écoulement ascendant :** la charge augmente, la perte de charge ( $\Delta H$ ) augmente, la contrainte effective ( $\sigma'$ ) diminue.

0.5

**Écoulement descendant :** la contrainte effective ( $\sigma'$ ) augmente, provoque le tassement du sol donc l'indice des vides ( $e$ ) et la porosité ( $n$ ) diminues, la perméabilité diminue.

0.5

7. Quelle sont les essais qui permettent de mesurer la perméabilité ?

1.00

7. ما هي التجارب التي تقيس النفاذية ؟

Perméabilité à charge constante,

0.25

Perméabilité à charge variable,

0.25

L'essai au pompage et

0.25

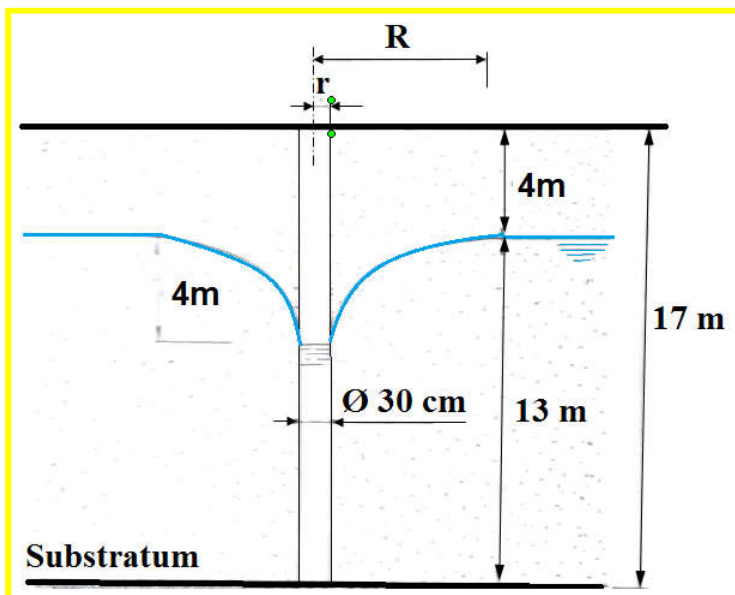
L'essai de forage

0.25

**Exercice 01(5points) :**

Un essai de pompage a été exécuté dont les conditions sont comme présenté dans la figure ci-dessous. Après 24h l'écoulement est supposé permanent, le débit pompé est  $6 \text{ m}^3/\text{h}$ , l'abaissement de la nappe est 4m. La porosité du sol est  $n=32\%$

1. Évaluez le rayon d'action R et le coefficient moyen de perméabilité du terrain K.



تم إجراء اختبار الضخ في الشروط المبينة في الشكل أدناه. بعد مرور 24 ساعة ، نعتبر أن التدفق دائماً ، ويكون معدل تدفق الضخ هو  $6 \text{ m}^3/\text{h}$  ، بينما يكون انخفاض منسوب المياه بمقدار 4 أمتار. مسامية التربة ( $n$ ) تقدر بـ  $30\%$

1. قم بتقييم نصف قطر تشغيل R

ومتوسط معامل النفاذية للتربة K.

## La Solution

5.00

$$q = \frac{\pi \cdot k \cdot (H^2 - h^2)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \dots \dots (1) \quad ; \quad R = 1.5 \sqrt{\left(\frac{k \cdot H}{n}\right) t} \dots \dots (2)$$

Si  $n = 30\%$

$$R^2 = 2.25 \left( \frac{K \cdot 13}{0.3} \right) 24 \Rightarrow 0.3 R^2 = 2.25 \times 13 \times 24 \times K \Rightarrow K = \frac{0.30}{702} R^2 \Rightarrow K = 4.27 \cdot 10^{-4} \cdot R^2$$

$$(1) \Rightarrow \ln\left(\frac{R}{r}\right) = \frac{\pi \cdot k \cdot (H^2 - h^2)}{q} \text{ on obtient } \ln\left(\frac{R}{r}\right) = \frac{\pi[(13)^2 - (9)^2]}{6} \cdot 4.27 \cdot 10^{-4} \cdot R^2$$

Si  $n = 32\%$

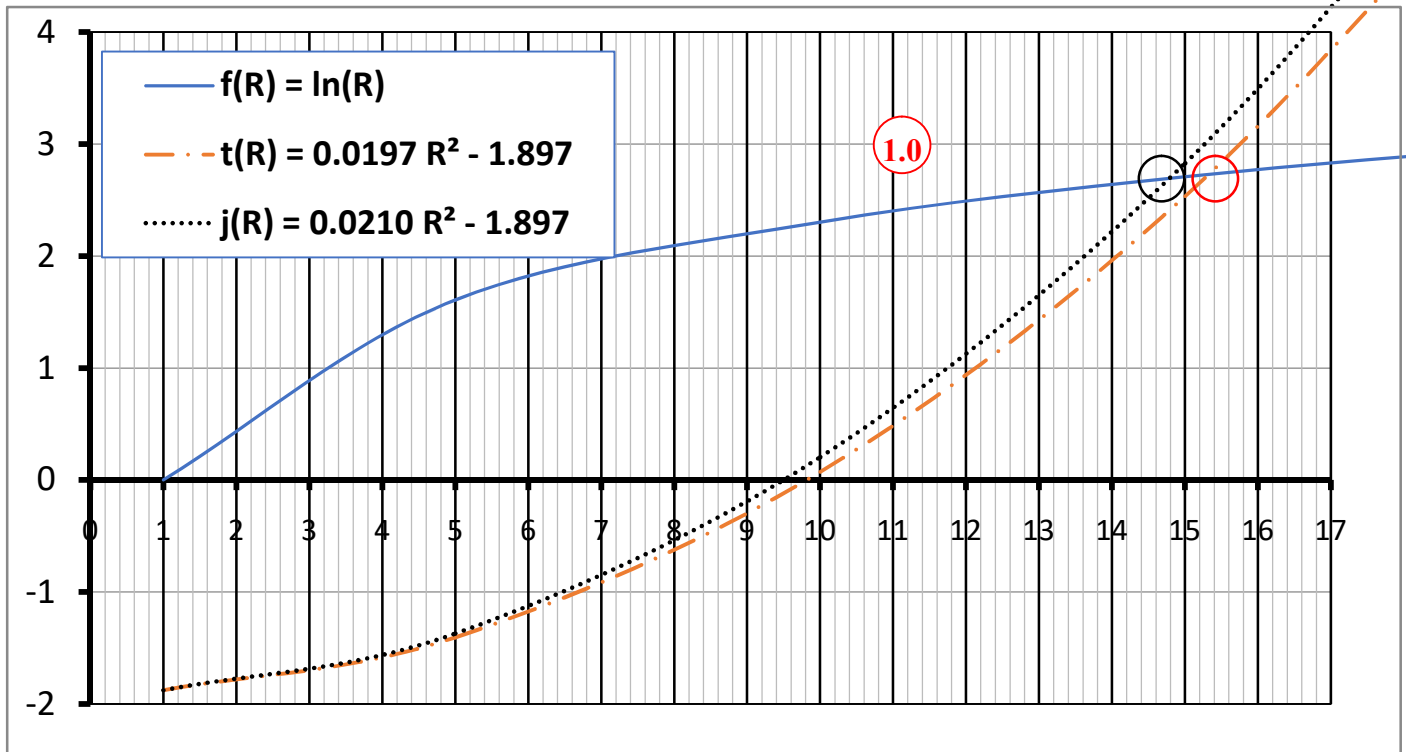
$$R^2 = 2.25 \left( \frac{K \cdot 13}{0.32} \right) 24 \Rightarrow 0.32 R^2 = 2.25 \times 13 \times 24 \times K \Rightarrow K = \frac{0.32}{702} R^2 \Rightarrow K = 4.56 \cdot 10^{-4} \cdot R^2$$

$$(1) \Rightarrow \ln\left(\frac{R}{r}\right) = \frac{\pi \cdot k \cdot (H^2 - h^2)}{q} \text{ on obtient } \ln\left(\frac{R}{r}\right) = \frac{\pi[(13)^2 - (9)^2]}{6} \cdot 4.56 \cdot 10^{-4} \cdot R^2$$

$$\text{Si } n=30\% \Rightarrow \ln(R) = 0.0197 R^2 - 1.897 \quad (1.0) \quad \text{Si } n=32\% \Rightarrow \ln(R) = 0.0210 R^2 - 1.897$$

$R$	1	5	10	15	20
$f(R) = \ln(R)$	0	1.609	2.302	2.708	2.995
$t(R) = 0.0197 R^2 - 1.897$	-1.8773	-1.4045	0.073	2.5355	5.983
$j(R) = 0.0210 R^2 - 1.897$	-1.876	-1.372	0.203	2.828	6.503

(1.0)



$$\text{Si } n=30\% \Rightarrow R \geq 15.3 \text{ m} \quad ; \quad \text{Si } n=32\% \Rightarrow R \geq 14.8 \text{ m} \quad (1.0)$$

$$k = \frac{q}{\pi \cdot (H^2 - h^2)} \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) \Rightarrow k = \frac{6}{\pi \cdot (13^2 - 9^2)} \cdot \ln\left(\frac{16}{0.15}\right) \Rightarrow k(16) = 0.10 \text{ m/h} = 2.8 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$$

(1.0)

$$k = \frac{q}{\pi \cdot (H^2 - h^2)} \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right) \Rightarrow k = \frac{6}{\pi \cdot (13^2 - 9^2)} \cdot \ln\left(\frac{15}{0.15}\right) \Rightarrow k(15) = 0.099 \text{ m/h} = 2.77 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$$

## Exercice 02(7 points) :

Une semelle carrée repose sur un bicouche dont leurs caractéristiques géométriques sont représentées dans la figure ci-dessous. La fondation exerce sur le sol une contrainte uniforme de 120 kPa. On demande de:

- 1- Calculer le coefficient de perméabilité équivalent des deux couches sachant que  $K_1 = 0.2 \cdot 10^{-3}$  cm/s et  $K_2 = 3.4 \cdot 10^{-3}$  cm/s
- 2- Écrire et de représenter les équations de contrainte ( $\sigma_v$ ,  $\sigma'_v$ ,  $U$ ) forme  $f(x) = ax+b$ ,
- 3- Calculer la contrainte totale effective due au sol et à la semelle dans le point m

يستند أساس مربعة على تربة مكونة من طبقتين تم تمثيل خصائصهما الهندسية في الشكل أدناه. الأساس يمارس على التربة ضغط منتظم يقدر بـ 120 كيلوباسكال. نطلب:

1- حسب معامل النفاذية المكافئ للطبقتين علماً أن  $K_1 = 0.2 \cdot 10^{-3}$  cm/s و  $K_2 = 3.4 \cdot 10^{-3}$  cm/s

2- كتابة وتمثيل البياني لمعادلات الإجهادات ( $U$ ,  $\sigma'_v$ ,  $\sigma_v$ ) من الصيغة  $f(x) = ax + b$

3- حسب الإجهاد الفعال الكلي الناتج عن طبقات التربة والأساس في النقطة p

### La Solution

7.00

1- Calcul du coefficient de perméabilité équivalent :  $k_h = \frac{1}{H} \cdot \sum_{i=1}^n k_i \cdot H_i \Rightarrow$  1.00

$$k_h = \frac{1}{3 \times 10^2} \cdot [(0.2 \cdot 10^{-3} \times 0.5 \cdot 10^2) + (3.4 \cdot 10^{-3} \times 2.5 \cdot 10^2)] = 2.86 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$$

2- équations des contraintes sous forme  $f(z) = a(z)+b$  3.75

1<sup>er</sup> couche  $0 \leq z \leq 1.0$

$$U_1 = 0$$

$$\sigma'_1 = \gamma_d \cdot z \Rightarrow \sigma'_1 = 14 \cdot z$$

$$\sigma_1 = \sigma'_1 + U_1 \Rightarrow \sigma_1 = 14 \cdot z$$

2<sup>ème</sup> couche  $1.0 \leq z \leq 1.5$

$$U_2 = \gamma_w \cdot z \Rightarrow U_2 = 10 \cdot (z - 1) \Rightarrow U_2 = 10 \cdot z - 10$$

$$\sigma'_2 = \gamma' \cdot (z - 1.0) + \sigma'_1(1.0) \Rightarrow \sigma'_2 = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) \cdot (z - 1.0) + \sigma'_1(1.0)$$

$$\sigma'_2 = (18.5 - 10) \cdot (z - 1.0) + 14 \Rightarrow \sigma'_2 = 8.5 \cdot z + 5.5$$

$$\sigma_2 = \sigma'_2 + U_2 \Rightarrow \sigma_2 = 18.5 \cdot z - 4.5$$

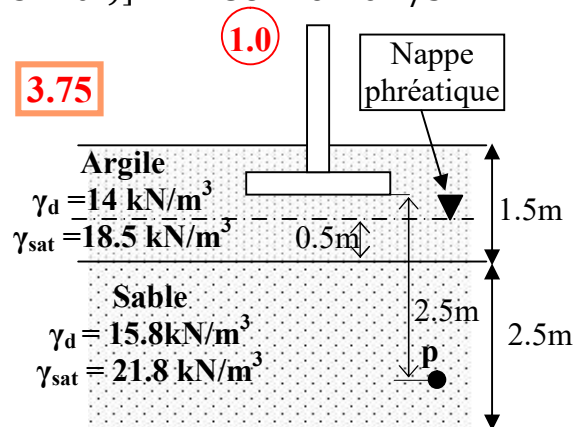
3<sup>ème</sup> couche  $1.5 \leq z \leq 4.0$

$$U_3 = \gamma_w \cdot z \Rightarrow U_3 = 10 \cdot (z - 1.5) + U_2(1.5) \Rightarrow U_3 = 10 \cdot z - 10$$

$$\sigma'_3 = \gamma' \cdot (z - 1.5) + \sigma'_2(1.5) \Rightarrow \sigma'_3 = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) \cdot (z - 1.5) + \sigma'_2(1.5)$$

$$\sigma'_3 = (21.8 - 10) \cdot (z - 1.5) + 18.25 \Rightarrow \sigma'_3 = 11.8 \cdot z + 0.55$$

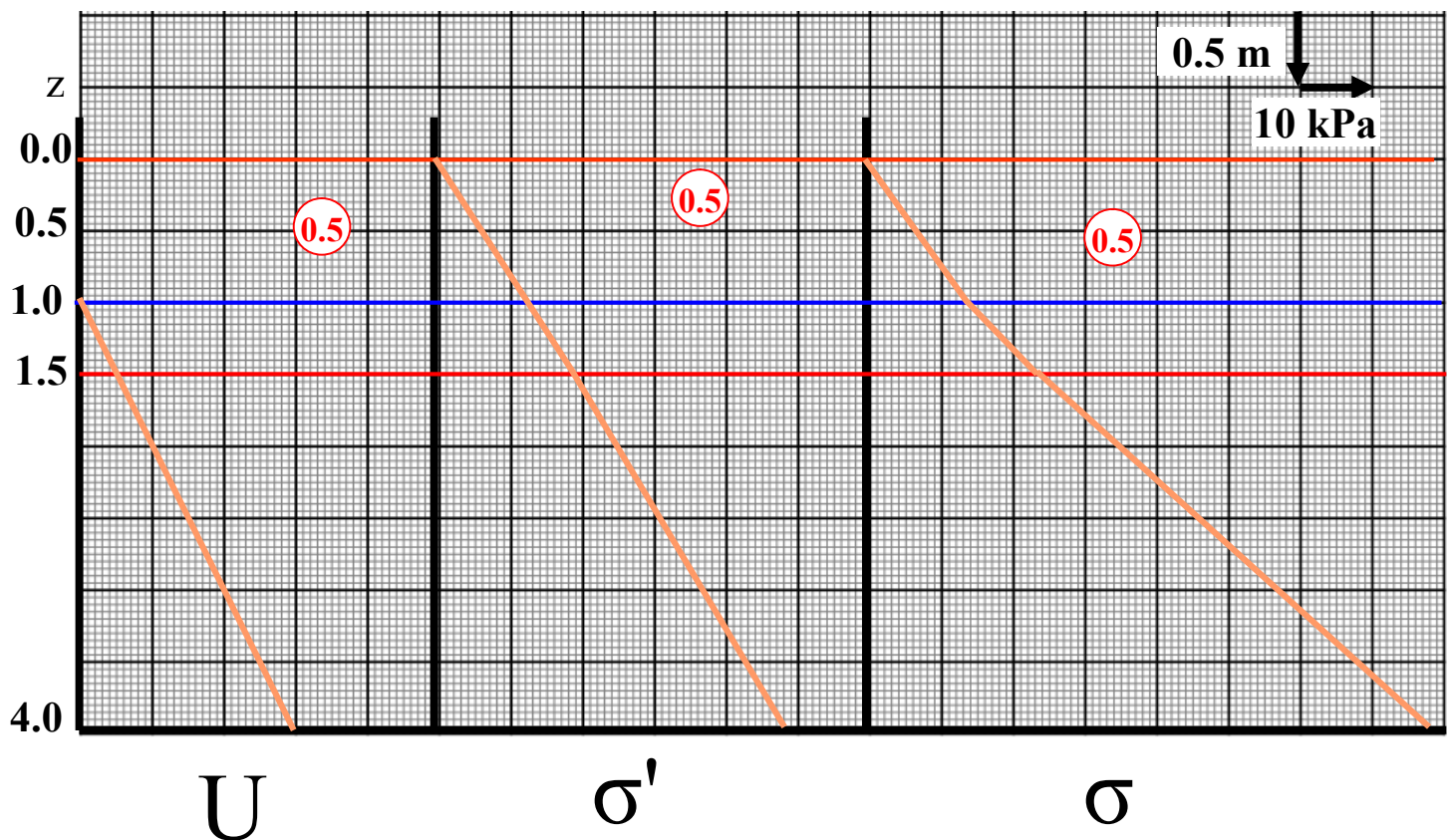
$$\sigma_3 = \sigma'_3 + U_3 \Rightarrow \sigma_3 = 21.8 \cdot z - 9.45$$





## Résumé des résultats

	Équation		Limite supérieure (kPa)	Limite inférieure (kPa)
$0 < z < 1.0$	$U_1(z)=0$ $\sigma'_1(z)=14 \cdot z$ $\sigma_1(z)=14 \cdot z$	$0.25$ $0.25$ $0.25$	$U(0)=0$ $\sigma'(0)=0$ $\sigma(0)=0$	$U(1.0)=0$ $\sigma'(1.0)=14$ $\sigma(1.0)=14$
$1.0 < z < 1.5$	$U(z)=10 \cdot z - 10$ $\sigma'_2=8.5 \cdot z + 5.5$ $\sigma_2=18.5 \cdot z - 4.5$	$0.25$ $0.25$ $0.25$	$U(1.0)=0$ $\sigma'(1.0)=14$ $\sigma(1.0)=14$	$U(1.5)=5.0$ $\sigma'(1.5)=18.25$ $\sigma(1.5)=23.25$
$1.5 < z < 4.0$	$U(z)=10 \cdot z - 10$ $\sigma'_3=11.8 \cdot z + 0.55$ $\sigma_3=21.8 \cdot z - 9.45$	$0.25$ $0.25$ $0.25$	$U(1.5)=5.0$ $\sigma'(1.5)=18.25$ $\sigma(1.5)=23.25$	$U(4.0)=30.0$ $\sigma'(4.0)=47.75$ $\sigma(4.0)=77.75$



3- Calcul la contrainte verticale due au sol et à la semelle dans un point m situé au centre de la semelle à une profondeur de 3m 2.25

$$\sigma_v = \gamma'_i \cdot z + \Delta\sigma_v$$

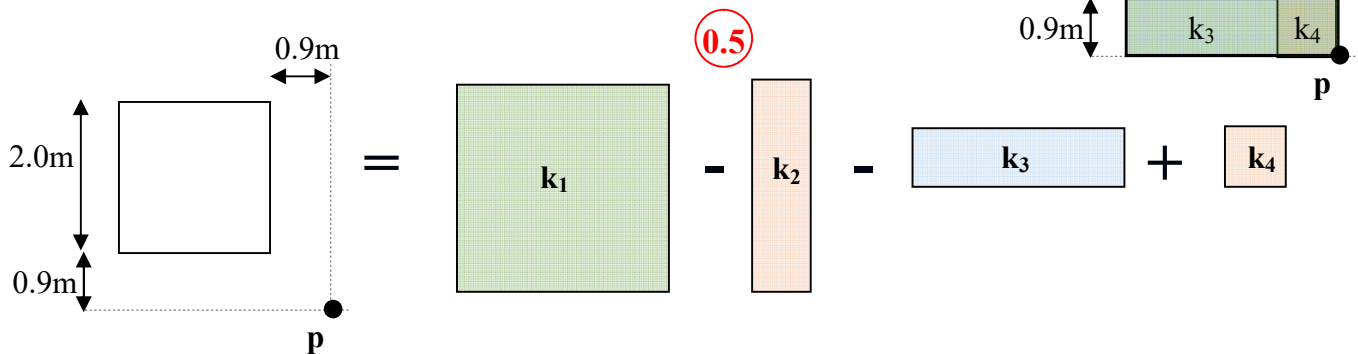
3.1-calcul de la contrainte effective au point P = 3m

$$\sigma'_3(z) = 11.8 \cdot z + 0.55 \Rightarrow \sigma'_3(3) = 11.8 \cdot (3) + 0.55 = 35.95 \text{ kPa} \quad (0.5)$$

-calcul de l'influence de la semelle au point P = 2.5 m

Il faut subdiviser la semelle en 4 parties partage le même point P

$$\Delta\sigma = (k_1 - k_2 - k_3 + k_4) \cdot q$$



-Calcul du coefficient k

$$m_1 = n_1 = \frac{2.9}{2.5} = 1.16 \Rightarrow k_1 = 0.202$$

	a	b	z	m	n	K	
K1	2.9	2.9	2.5	1.16	1.16	0.202	0.25
K2	0.9	2.9	2.5	0.36	1.16	0.11	0.25
K3	2.9	0.9	2.5	1.16	0.36	0.11	0.25
K4	0.9	0.9	2.5	0.36	0.36	0.058	0.25

$$\Delta\sigma = (k_1 - k_2 - k_3 + k_4) \cdot q \Rightarrow \Delta\sigma = (0.202 - 0.11 \times 2 + 0.058) \times 120 = 4.8 \text{ kPa}$$

La contrainte verticale au point m est

$$\sigma_v = \gamma'_i \cdot z + \Delta\sigma_v$$

$$\sigma_v = 39.95 + 4.8 = 40.75 \text{ kPa} \quad (0.25)$$



