

M_u KERBOUCHE A.E.K
3GC.L.M.D

$$\gamma \cdot z \cdot \cos^2 \varphi + \sigma_v \cdot \sin \varphi + \sin \varphi \cdot \sigma_{Ha} = \sigma_v - \sigma_{Ha}$$

$$2C \cdot \cos \varphi + \sigma_v \cdot \sin \varphi + \sigma_{Ha} \cdot \sin \varphi = \sigma_v - \sigma_{Ha} \Rightarrow 2C \cdot \cos \varphi + \sigma_{Ha} (1 + \sin \varphi) = \sigma_v (1 - \sin \varphi)$$

$$\sigma_{Ha} (1 + \sin \varphi) = \sigma_v (1 - \sin \varphi) - 2C \cdot \cos \varphi \Rightarrow \sigma_{Ha} = \sigma_v \left(\frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right) - \frac{2C \cos \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

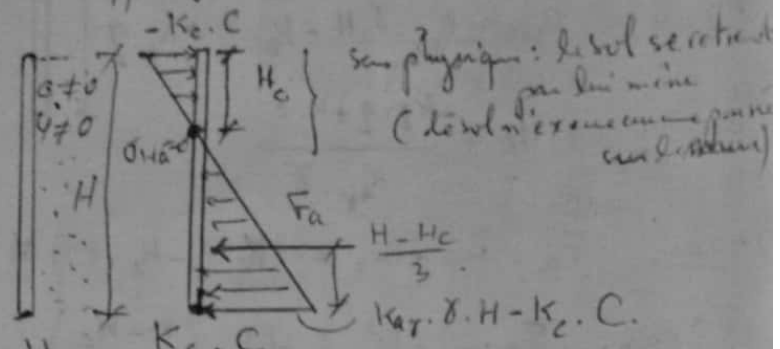
$\sigma_{Ha} = K_a \cdot \sigma_v - K_c \cdot C$

avec $K_c = \frac{2 \cos \varphi}{1 + \sin \varphi} = \frac{1 - K_a}{\tan \varphi}$

K_c : Coeff de poussée due à la cohésion

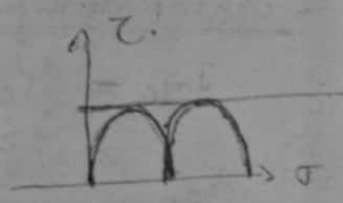
$$\sigma_{Ha} = K_a \cdot \gamma \cdot z - K_c \cdot C$$

$$\begin{cases} z=0 \Rightarrow \sigma_{Ha} = -K_c \cdot C \\ z=H \Rightarrow \sigma_{Ha} = K_a \cdot \gamma H - K_c \cdot C \end{cases}$$



$$\sigma_{Ha} = 0 \Rightarrow K_a \cdot \gamma \cdot z - K_c \cdot C = 0 \Rightarrow z = H_c = \frac{K_c \cdot C}{K_a \cdot \gamma}$$

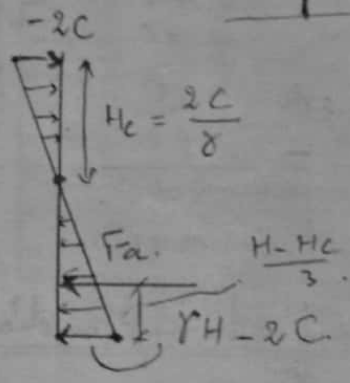
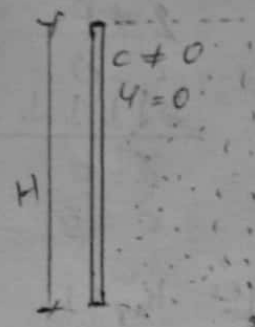
$$F_a = \frac{(K_a \cdot \gamma \cdot H - K_c \cdot C) (H - H_c)}{2}$$



* Sol purement cohésif: $C \neq 0$ $\varphi = 0$
 $K_a = 1$ $K_c = 2$

$$\sigma_{Ha} = \sigma_v - 2C = \gamma \cdot z - 2C$$

$$\begin{cases} z=0 \Rightarrow \sigma_{Ha} = -2C \\ z=H \Rightarrow \sigma_{Ha} = \gamma H - 2C \end{cases}$$



$$\sigma_{Ha} = 0 \Rightarrow H_c = \frac{2C}{\gamma}$$

$$F_a = \frac{(\gamma H - 2C) \cdot \gamma \left(H - \frac{2C}{\gamma} \right)}{2} = \frac{(\gamma H - 2C)^2}{2\gamma}$$

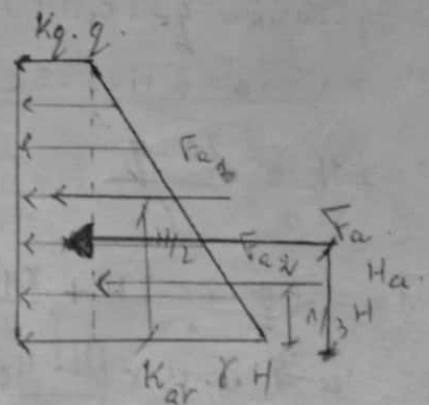
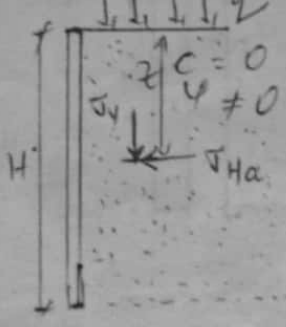
* Sol pulvérisant mélangé:

$$\sigma_v = \gamma z + q$$

$$\sigma_{Ha} = K_a \cdot \sigma_v$$

$$\sigma_{Ha} = K_a (\gamma z + q)$$

$$\sigma_{Ha} = K_a \cdot \gamma \cdot z + K_{aq} \cdot q$$



$$\sigma_{Ha} = K_a \cdot \gamma z + K_{aq} \cdot q$$

K_{aq} : Coeff de poussée due aux mélanges q ($K_{aq} = K_{aq}$) avec $K_q = \frac{K_p}{\cos(\beta - \alpha)}$ (en lombs)

$$\begin{cases} z=0 \Rightarrow \sigma_{Ha} = K_{aq} \cdot q \\ z=H \Rightarrow \sigma_{Ha} = K_a \cdot \gamma \cdot H + K_{aq} \cdot q \end{cases}$$

5) Méthode de Coulomb:

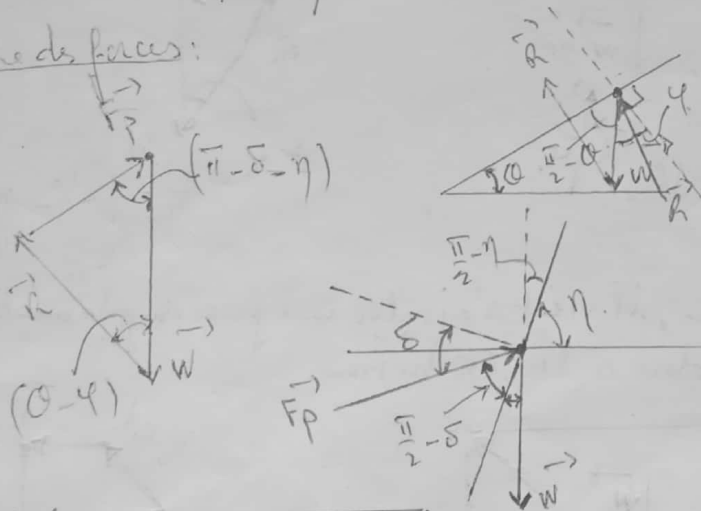
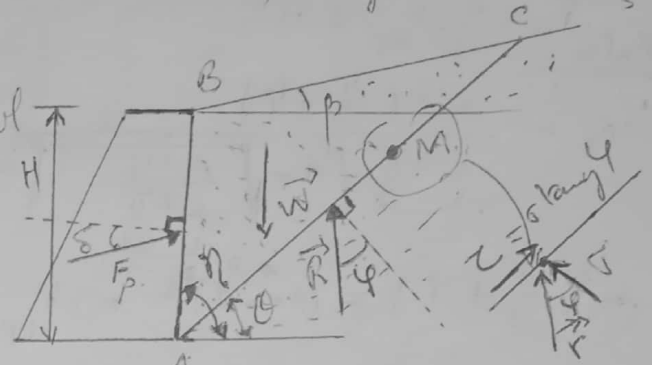
(9)

Hypothèses:

- * détermine la force de poussée ou de butée derrière l'écran pour ~~une~~ considération de l'état des contraintes derrière l'écran.
- * le sol se rompt suivant une surface de rupture plane passant par le pied de l'écran
- * la force agissant sur l'écran a une direction connue cela signifie que l'angle de frottement δ entre le sol et l'écran est connu. $(-\varphi \leq \delta \leq +\varphi) \Rightarrow$ généralement $\delta = \frac{2}{3}\varphi$

Principe:

- mur de soutènement soutenant un massif de sol pulvéulent ($c=0$) et angle de frott. φ
- AC : plan de rupture faisant l'angle θ avec l'horizontale.
- En chaque pt. P du plan de rupture s'exerce la contrainte $\vec{r}$ faisant l'angle φ avec la normale au plan.
- $\vec{R}$: réaction totale du sol sur le plan AC $\vec{R} = \int r ds$
- les forces agissant sur le coin de sol ABC (puisque ABC):
 $\vec{W}$: poids du sol ABC $\vec{F}_p$: force exercée par le mur sur le sol. $\vec{R}$
- le coin de sol ABC est en équilibre: $\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \vec{W} + \vec{F}_p + \vec{R} = \vec{0}$
- le polygone des forces:



$$(\vec{W}, \vec{R}) = \left(\frac{\pi}{2} - \eta\right) - \left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \frac{\pi}{2} - \eta - \frac{\pi}{2} + \theta = (\theta - \eta)$$

$$(\vec{W}, \vec{F}_p) = \left(\frac{\pi}{2} - \eta\right) + \left(\frac{\pi}{2} - \delta\right)$$

$$(\vec{W}, \vec{F}_p) = (\pi - \delta - \eta)$$

* Force de Butée:

$$F_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2$$

$$\text{avec } K_p = \frac{\sin^2(\eta + \varphi)}{\sin^2 \eta \cdot \sin(\eta + \delta) \left[1 - \frac{\sin(\varphi - \delta) \sin(\varphi + \beta)}{\sin(\eta + \delta) \sin(\eta - \beta)} \right]^2}$$

* Force de Poussée:

$$F_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

$$\text{avec } K_a = \frac{\sin^2(\eta - \varphi)}{\sin^2 \eta \cdot \sin(\eta + \delta) \left[1 + \frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\eta + \delta) \sin(\eta - \beta)} \right]^2}$$

Remarque: On suppose une répartition linéaire des contraintes sur le parement du mur et le pt. d'application de la force est à $\frac{H}{3}$ de la base.

$$x = mH \Rightarrow m = \frac{x}{H}$$

$$z = nH \Rightarrow n = \frac{z}{H}$$

$$m > 0,4 : \sigma_H = 1,27 \cdot \frac{q \cdot m^2 \cdot n}{H \cdot (m^2 + n^2)^2}$$

$$m < 0,4 : \sigma_H = 0,203 \cdot \frac{q}{H} \cdot \frac{m}{(0,16 + n^2)^2}$$

• bande linéaire uniformément chargée:

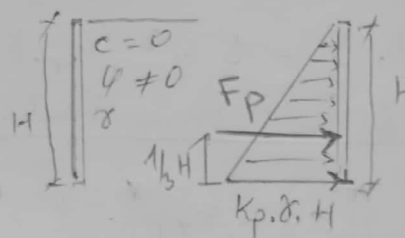
$$\sigma_H = \frac{2q}{\pi} \left[(\beta + \sin \beta) \sin^2 \alpha + (\beta - \sin \beta) \cos^2 \alpha \right]$$

* Forces de Butée:

• sol pulvéulent: $c = 0; \varphi \neq 0$

$$\sigma_{HP} = K_{pr} \cdot \gamma \cdot z$$

$$F_p = \frac{1}{2} K_{pr} \cdot \gamma \cdot H^2$$



• sol cohérent: $c \neq 0 \varphi \neq 0$

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_{HP} - \sigma_v}{c \cdot \cot \varphi + \sigma_v + \frac{\sigma_{HP} - \sigma_v}{2}} = \frac{\sigma_{HP} - \sigma_v}{2c \cot \varphi + \sigma_v + \sigma_{HP}} = \frac{\sigma_{HP} - \sigma_v}{2c \cot \varphi + \sigma_v + \sigma_{HP}}$$

$$\sigma_{HP} - \sigma_v = 2c \cdot \cos \varphi + \sin \varphi \cdot \sigma_v + \sin \varphi \cdot \sigma_{HP} \Rightarrow \sigma_{HP} (1 - \sin \varphi) = \sigma_v (1 + \sin \varphi) + 2c \cos \varphi$$

$$\sigma_{HP} = \left(\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right) \sigma_v + \frac{2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \Rightarrow \sigma_{HP} = K_{pr} \cdot \sigma_v + K_{cp} \cdot c$$

avec: $K_{cp} = \frac{2 \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}$: coeff de butée du c la cohésion.

$$\sigma_{HP} = K_{pr} \cdot \gamma \cdot z + K_{cp} \cdot c$$

$$F_{p1} = K_{cp} \cdot c \cdot H \quad F_{p2} = \frac{1}{2} \cdot H^2 \cdot K_{pr} \cdot \gamma$$

$$F_p = F_{p1} + F_{p2} \rightarrow \text{point d'application } H_p / H_p = \frac{F_{p1} \cdot \frac{H}{2} + F_{p2} \cdot \frac{H}{3}}{F_p}$$

• sol purement cohérent: $c \neq 0 \varphi = 0$

$$K_{pr} = 1 \quad K_{cp} = 2$$

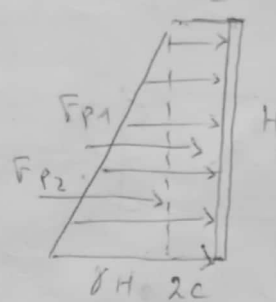
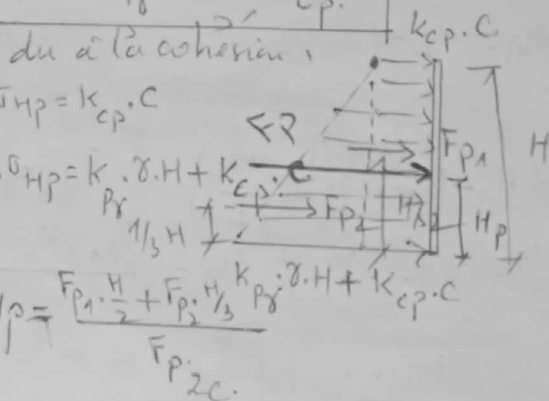
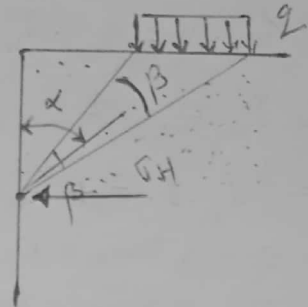
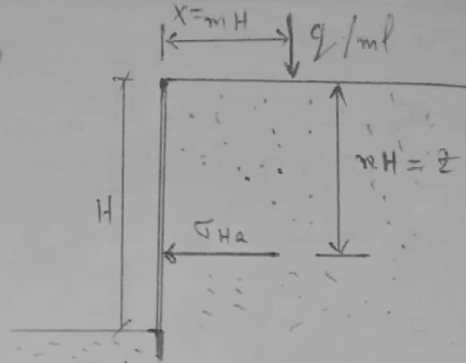
$$\sigma_{HP} = K_{pr} \cdot \gamma \cdot z + 2c$$

$$\left. \begin{array}{l} z = 0 \rightarrow \sigma_{HP} = 2c \\ z = H \rightarrow \sigma_{HP} = \gamma H + 2c \end{array} \right\}$$

$$F_{p1} = 2c \cdot H \quad F_{p2} = \frac{1}{2} \gamma H^2$$

$$F_p = F_{p1} + F_{p2}$$

$$H_p / H_p = \frac{F_{p1} \cdot \frac{H}{2} + F_{p2} \cdot \frac{H}{3}}{F_p}$$



Méthode de Coulomb:

(9)

postulés:

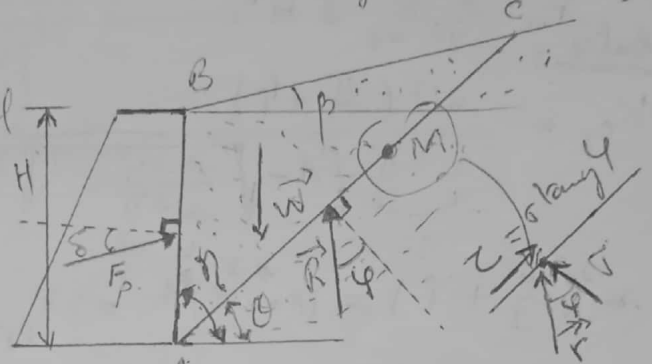
- * détermine la force de poussée ou de butée derrière l'écran pour ~~la~~ considération de l'état des contraintes derrière l'écran.
- * le sol se rompt suivant une surface de rupture plane passant par le pied de l'écran.
- * la force agissant sur l'écran a une direction connue cela signifie que l'angle de frottement δ entre le sol et l'écran est connu. $(-\varphi \leq \delta \leq +\varphi) \Rightarrow$ généralement $\delta = \frac{2}{3}\varphi$

incipe:

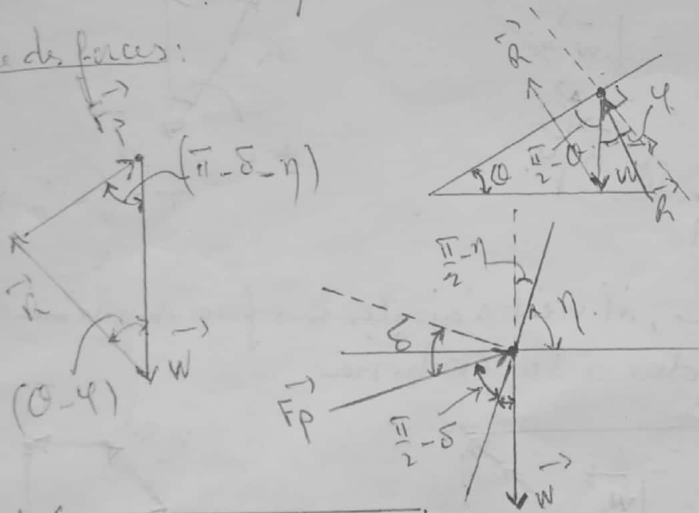
- mur de soutènement soutenant un massif de sol pulvéulent ($c=0$) et angle de frott. φ

AC : plan de rupture faisant l'angle θ avec l'horizontale.

- En chaque pt. P du plan de rupture s'exerce la contrainte $\vec{r}$ faisant l'angle φ avec la normale au plan.
- $\vec{R}$: réaction totale du sol sur le plan AC $\vec{R} = \int \vec{r} ds$
- les forces agissant sur le coin de sol ABC (puisque ABC):
 $\vec{W}$: poids du sol ABC $\vec{F}_p$: force exercée par l'imm sur le sol. $\vec{R}$
 le coin du sol ABC est en équilibre: $\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \vec{W} + \vec{F}_p + \vec{R} = \vec{0}$



le polygone des forces:



$$(\vec{W}, \vec{R}) = \left(\frac{\pi}{2} - \eta\right) - \left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \frac{\pi}{2} - \eta - \frac{\pi}{2} + \theta = (\theta - \eta)$$

$$(\vec{W}, \vec{F}_p) = \left(\frac{\pi}{2} - \eta\right) + \left(\frac{\pi}{2} - \delta\right)$$

$$(\vec{W}, \vec{F}_p) = (\pi - \delta - \eta)$$

* Force de Butée:

$$F_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2$$

$$\text{avec } K_p = \frac{\sin^2(\eta + \varphi)}{\sin^2 \eta \cdot \sin(\eta + \delta) \left[1 - \frac{\sin(\varphi - \delta) \sin(\varphi + \beta)}{\sin(\eta + \delta) \sin(\eta - \beta)} \right]^2}$$

* Force de Poussée:

$$F_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

$$\text{avec } K_a = \frac{\sin^2(\eta - \varphi)}{\sin^2 \eta \cdot \sin(\eta + \delta) \left[1 + \frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\eta + \delta) \sin(\eta - \beta)} \right]^2}$$

- * Remarque: On suppose une répartition linéaire des contraintes sur le parement du mur et le pt. d'application de la force est à $\frac{H}{3}$ de la base.

1) Méthode de Poncelet:

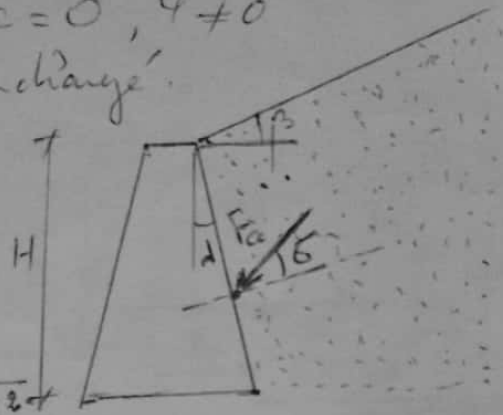
$\beta \neq 0, \delta \neq 0, \lambda \neq 0, \varphi = 0, c = 0, \gamma \neq 0$
 * elle s'applique pour 1 sol pulvérulent non surchargé.

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \left(\frac{H}{\cos \lambda} \right)^2 \cdot K_{\text{Poncelet}}$$

avec

$$K_{\text{Poncelet}} = \frac{\cos^2(\varphi - \lambda)}{\cos(\lambda + \delta)} \cdot \frac{1}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\lambda + \delta) \cos(\beta - \lambda)}} \right]^2}$$

• Remarque: le point d'application est à $\frac{H}{3}$ de la base.



Fiche TD N° 2 (3 GC – LMD)

Fondations et Ouvrages

Géotechniques

Exercice 1 :

Un écran de soutènement en béton de hauteur 5m retient un massif de sol pulvérulent ($C=0$) de caractéristiques physiques, $\gamma=22\text{kN/m}^3$, $\varphi=35^\circ$ et à une surface

Inclinée /à l'horizontalité d'un angle $\beta=20^\circ$ (figure 1)

Cas (a) : Déterminer : 1- les contraintes aux pts A et B.

2- Tracer le diagramme des contraintes.

3- La force de poussée et son point.

Cas (b) : Après déblayage, on arrive à éliminer le talus de sol

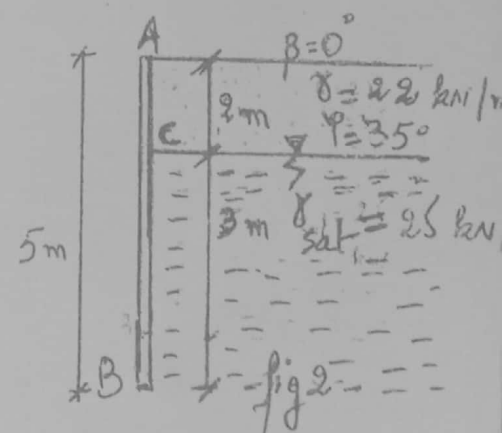
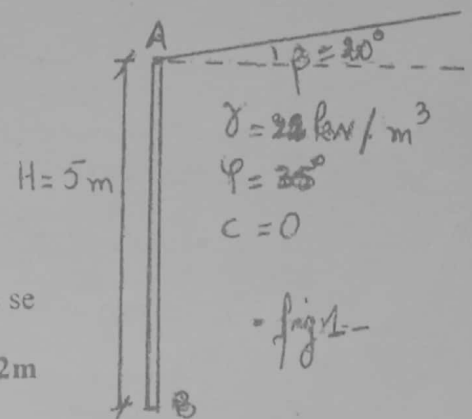
(Futur projet) $\rightarrow \beta=0$ derrière l'écran et une nappe phréatique se

Développe derrière l'écran et son niveau atteint une hauteur de 2m

Au dessus de la crête de l'écran –le sol à l'état de saturation a un poids

Volumique saturé $\gamma_{sat} = 25 \text{ kN/m}^3$ (voir fig 2)

Mêmes questions que le cas (a).



Suite Fiche TD N° 2

Exercice 2 :

Soit un écran de hauteur $H=12\text{m}$ ayant un parement intérieur (cote sol) lisse, vertical et de surface horizontale ($\beta=0$) retient un sol fin saturé (ex : argile) de caractéristiques physiques

$\gamma_{\text{sat}}=20\text{kN/m}^3$ et $C_u=40\text{kPa}$ (cohésion non drainée)

Cas (a) : On étudie le sol à l'état de poussée

- 1-Déterminer l'état des contraintes au sommet et à la base de l'écran.
- 2- Pour quelle profondeur Z_0 s'annulent les contraintes ?
- 3-Déterminer la force de poussée et son point d'application /base de l'écran

Cas (b) : Par un dispositif quelconque on arrive à drainer le sol fin, ce dernier aura comme caractéristiques physiques effectives $\varphi'=25^\circ$ et $C'=10\text{kPa}$.

-Mêmes questions que le cas(a)

-Donner une conclusion.

Exercice 3 :

Un massif de sol cohérent est retenu par un écran lisse, vertical et de surface supérieure horizontale ($\beta=0$) a comme caractéristiques physiques : $\gamma_1=20\text{kN/m}^3$; $\varphi_1=10^\circ$

$C_1=10\text{kPa}$ et $\gamma_1'=15\text{kN/m}^3$.

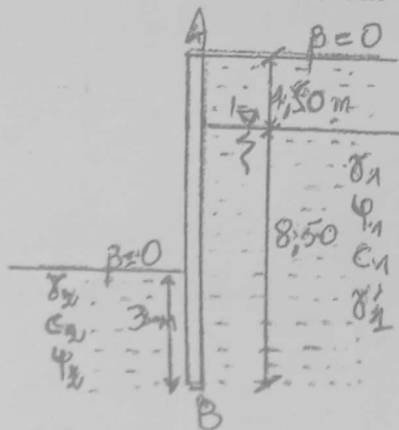
-La hauteur de l'cran $H=10\text{m}$.

-Le niveau de la nappe est de $1,5\text{m}$ du sommet de l'écran.

-De l'autre coté de l'écran, un autre sol cohérent vient buter l'écran (voir fig.)

et dont les caractéristiques physiques sont : $\gamma_2=22\text{kN/m}^3$ - $\varphi_2=20^\circ$ - $C_2=20\text{kPa}$.

La hauteur du sol de butée 3m



Travail demandé : Déterminer dans les deux cas poussée et butée

- 1-L'état des contraintes,
- 2- Le tracé des diagrammes des contraintes,
- 3- Les forces et leurs points d'application base de l'écran,
- 4- Conclure !