

الحمد لله وحده نحمده ونشكره ونستعين به ونستغفره ونعوذ بالله  
من شرور أنفسنا  
ومن سيئات أعمالنا  
من يهده الله فلا مضل له ومن يضلل فلا هادي له  
أشهد أن لا إله إلا الله وحده لا شريك له  
وأشهد أن محمدا عبده ورسوله  
صلى الله عليه وسلم وعلى آله وصحبه أجمعين  
ومن تبعهم بالإحسان إلى يوم الدين  
ربنا لا علم لنا إلا ما علمتنا، إنك أنت العليم الخبير  
ربنا لا فهم لنا إلا ما أفهمتنا، إنك أنت الجواد الكريم  
ربي اشرح لي صدري ويسر لي أمري واحلل لي  
... عقدة لساني يفقهوا قولي

أما بعد.

فإن أصدق الحديث كتاب الله تعالى وخير الهدي، هدي سيدنا  
محمد صلى الله عليه وسلم تسليما  
وشر الأمور محدثاتها وكل محدثة بدعة وكل بدعة ضلالة وكل  
ضلالة في النار

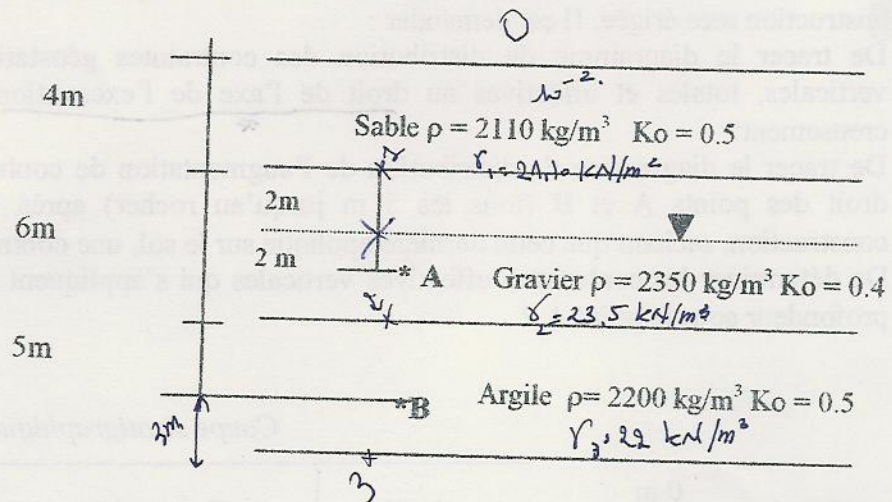
فاللهم أجرنا وقنا عذابها برحمتك يا أرحم الراحمين

## Série n° 4

## LA DISTRIBUTION DES CONTRAINTES DANS LE SOL

## Exercice n°1 :

A l'aide des données de la figure suivante, calculer la contraintes totale, la pression interstitielle et la contrainte effective aux points A et B.

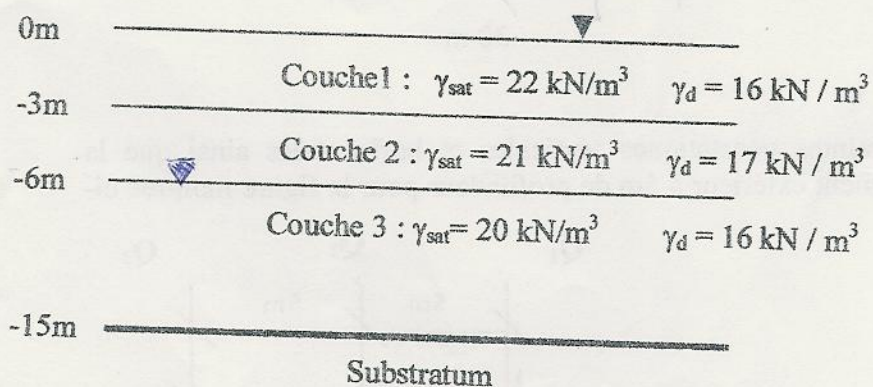


## Exercice n°2 :

Etant données les conditions initiales de sol montrées sur la coupe stratigraphique ci-dessous, le niveau de la nappe phréatique est au niveau du terrain naturel.

1/ Calculer les contraintes géostatiques verticales effectives à chaque mi couche?  
Par un effet de pompage le niveau de la nappe a baissé de 6 m en entraînant un état sec pour la partie de sol hors nappe.

2/ Calculer les contraintes géostatiques effectives à chaque mi couche après pompage ?  
3/ Quel est l'effet du changement de niveau de la nappe sur l'état des contraintes ? Quel risque y a-t-il ? Expliquer



sol sec  $w = 0$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \rightarrow \gamma_d = \gamma$$

sol ( $w = 0$ : sol sec)

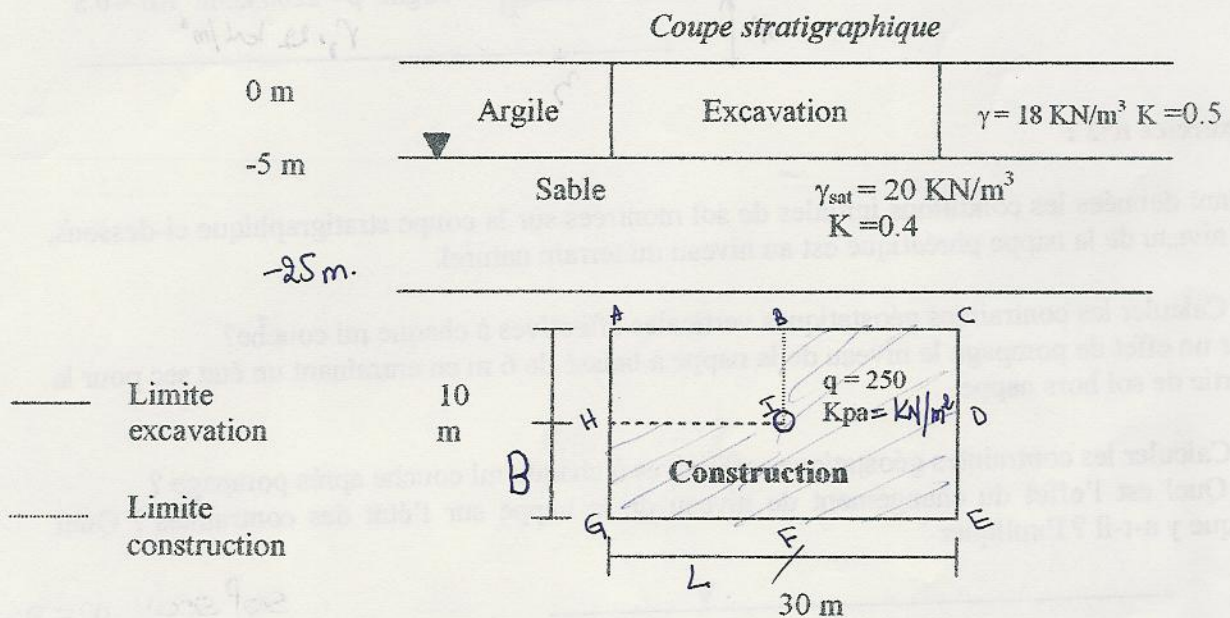


### Exercice n°3 :

Etant données les conditions de sols montrées sur la coupe stratigraphique montrée à la figure N°1, on se propose de réaliser une construction dont la forme et les dimensions en plan, sont données sur la même figure.

A cet effet, on réalise une excavation de 30m x 20m sur une profondeur de 5 m dans la quelle la construction sera érigée. Il est demandé :

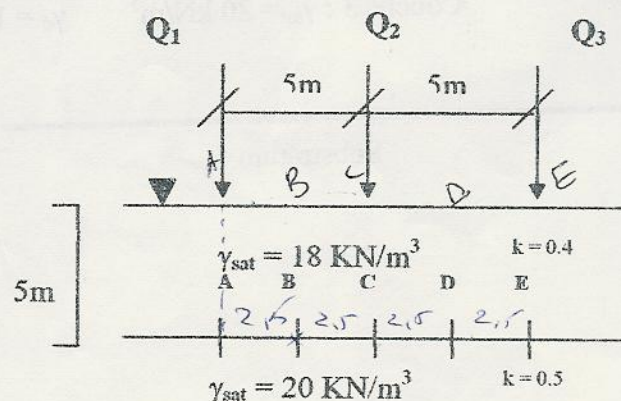
- De tracer le diagramme de distribution des contraintes géostatiques horizontales et verticales, totales et effectives au droit de l'axe de l'excavation avant et après son creusement?
- De tracer le diagramme de distribution de l'augmentation de contraintes dans le sol au droit des points A et B (tous les 5 m jusqu'au rocher) après la réalisation de la construction, sachant que cette dernière applique sur le sol, une contrainte de 250 KN/m<sup>2</sup>?
- De déterminer les contraintes effectives verticales qui s'appliquent à 10 m et à 15 m de profondeur sous le point A ?



### Exercice n°4 :

Tracer la distribution des contraintes géostatiques verticales et horizontales ainsi que la distribution induite par le chargement extérieur à 5m de profondeur pour la figure montrée ci-dessous.

$$\begin{aligned} Q_1 &= 100 \text{ Kn} \\ Q_2 &= 200 \text{ Kn} \\ Q_3 &= 300 \text{ Kn} \end{aligned}$$





### Exercice n°5 :

On se propose de réaliser une construction définie ci après, dont la partie du réservoir circulaire transmet une charge de  $300 \text{ kN} / \text{m}^2$  et le reste du radier transmet une charge uniformément répartie de  $250 \text{ kN} / \text{m}^2$  sur un sol dont la coupe stratigraphique est donnée sur la figure n° 1.  $D = 3 \text{ m}$ .

Les dimensions et la forme de la construction sont données sur la vue en plan représentée sur la figure 2. A cet effet, on réalise une excavation de  $(20\text{m} \times 10\text{m})$  sur une profondeur de  $4 \text{ m}$  dans laquelle sera érigée la construction. On demande de :

1/ calculer et de tracer les contraintes à mi-couche et aux frontières de chaque couche :

- des contraintes géostatiques verticales totales et effectives
- des contraintes géostatiques horizontales totales et effectives

2/ calculer la contrainte verticale à chaque mi couche au droit de son axe (point A milieu de la construction).

- après excavation
- après la réalisation de la construction

3/ calculer l'augmentation de contrainte verticale due à la construction au droit du point B (bord) à chaque mi couche.

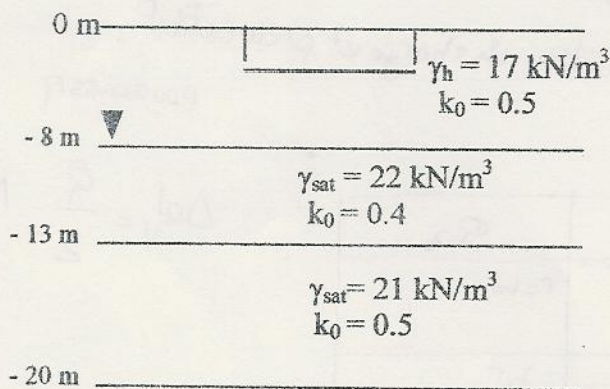


Fig. 1 : coupe stratigraphique

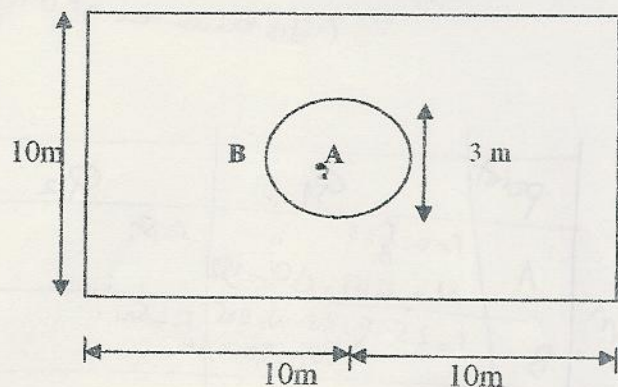


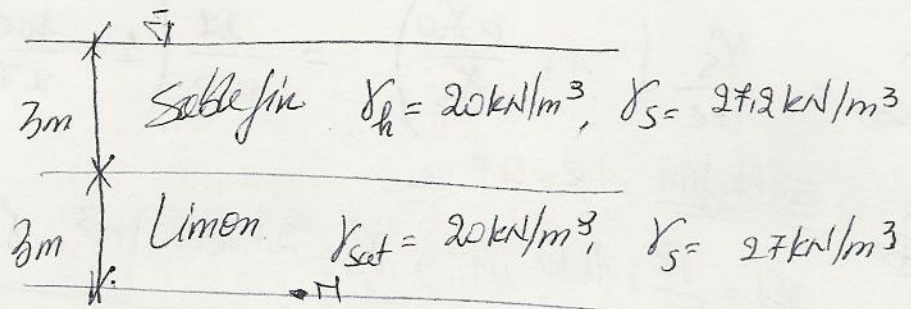
Fig. 2 : vue en plan

Ex supp' Calcul au point M de la figure ci-dessous. les contraintes verticales totales et effectives.

Par suite d'une modification du niveau de nappe, la contrainte verticale effective diminue de 16 kPa

Quel est le niveau de la nappe ?

On supposera que l'indice des vides  $i$  est le même pour les deux couches de sol.





$$\alpha_v = \gamma_H, \quad \alpha_v = \gamma_v(u)$$

la nappe phréatique  $\downarrow \rightarrow$

Analyse de l'ex. 3.7 page 109



$\alpha_v \Rightarrow$  diminue  
 $u \Rightarrow$  augmente  $\Rightarrow (u = 10h) \Rightarrow (u \text{ augmente}) \Rightarrow (H \text{ augmente})$

$\Rightarrow$  le niveau de la nappe phréatique monte

$\alpha_H, \alpha_{vH}$

	$\alpha_v$	$u$	$\alpha_v'$
$\uparrow 3m$	60	30	30
$\downarrow 3m$	120	60	60

$$\gamma_R = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_S = 27,2 \text{ kN/m}^3$$

$$w_{sat} = \frac{e\gamma_w}{\gamma_S}, \quad \gamma_d = \frac{\gamma_S}{1+e}, \quad \gamma_h = \frac{\gamma_S}{1+e} \left( 1 + \frac{eS_r\gamma_w}{\gamma_S} \right), \quad \gamma_{sat} = \gamma_d (1+w_{sat})$$

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_S}{1+e} \left( 1 + \frac{e\gamma_w}{\gamma_S} \right) = \frac{27}{1+e} \left( 1 + \frac{10e}{27} \right) \Rightarrow e = 0,7$$

Sable fin  $e = 0,7$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_S}{1+e} = 16 \text{ kN/m}^3, \quad \gamma_S = 27,2 \text{ kN/m}^3, \quad \gamma_R = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$w_{sat} = \frac{10(0,7)}{27,2} = 0,25 \Rightarrow \gamma_{sat} = 16(1+0,25) = 20,11 \text{ kN/m}^3$$

$\gamma_{sat} = 20,11 \text{ kN/m}^3$  trouver  $P$  de plus sitant

$$\alpha_{vH} = \gamma_R(3-P) \quad \alpha_{vH}' = 20P + 20,11(3-P) + 20(3) \quad (\text{kPa})$$

$$\alpha_{vH} = 20P + 60,33 - 20,11P + 60$$

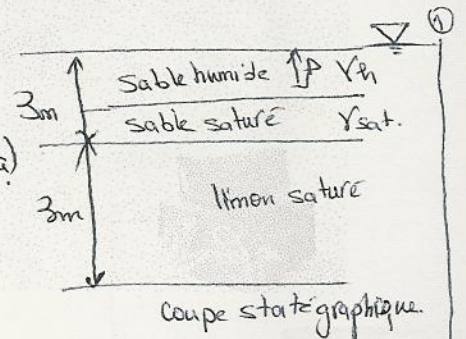
$$\alpha_{vH} = 120 - 0,11P \quad (\text{kPa})$$

$$\alpha_{vH}' = \alpha_v - u = 120 - 0,11P - 10[6-P]$$

$$\alpha_{vH}' = 60 + 9,89P \Rightarrow$$

$$\alpha_{vH}' = 89,67 \approx 90 \text{ kPa}$$

$$-16 \quad 73,67$$



Etat initial: nappe phréatique

$$\alpha_{vH}' = 89,67 \text{ kPa}$$

$$\alpha_{vH}' \downarrow 16 \Rightarrow \alpha_{vH}' = 73,67 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow P = 1,38m$$



la distribution des contraintes sous lesop.Doppel:

Contraintes. ( $\sigma$ )  
 $[F/S] [KN/m^2]$

Totale ( $\sigma$ )Effective. ( $\sigma'$ )Verticalehorizontale.verticalehorizontale. $\gamma = \text{cte.}$ 

$$\sigma_v = \sum \gamma_i \cdot z_i$$

$$\sigma_H = \sigma'_H + U.$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - U.$$

$$\sigma'_H = k_0 \sigma'_v$$

$U$ : epression  
intersticielle.

$$U = \gamma_w \cdot h$$

$h$ : hauteur de l'eau.

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

$k_0$ : coefficient  
de terre au  
repos.

Ex 1:

Calculer les contraintes totales verticales et horizontales, les contraintes effectives verticales et horizontales au frontiere des couches en points A et B.

Points	Épaisseur $z(m)$	$q_v = \sum \gamma_i z_i$ $kN/m^2$	$U = \gamma_e h_e$	$q_v' = q_v - U$	$q_H' = k_o q_v'$	$q_H = q_H' + U$
0	0	0	0	0	0	0
1	4	84,4	0	84,4	$42,2/33,8$	$42,2/33,8$
A	8	178,4	20	158,4	63,36	83,36
2	10	225,4	40	185,4	$74,16/92,7$	$114,16/132,7$
B	15	338,4	90	248,4	122,7	212,7
3	18	401,4	120	281,4	140,7	260,7

Remarque:

. Dans le calcul des ouvrages, on prend dans les calculs les cas le plus défavorable  $\Rightarrow$  la valeur la plus faible.

. Dans le calcul des contraintes, on utilise l'épaisseur et non pas l'altitude. et si on a de l'altitude, on doit ajouter l'épaisseur.

$$z_1 - z_0 = \text{Épaisseur}_0.$$



Ex4:

$$q_v = \gamma_{\text{sat}} \cdot h = 18.5 = 90 \text{ kN/m}^2.$$

$$u = \gamma_w \cdot h = 10.5 = 50 \text{ kN/m}^2.$$

$$q_v' = q_v - u = 90 - 50 = 40 \text{ kN/m}^2.$$

$$q_H' = k_v q_v' \Rightarrow \begin{cases} 0.5(40) = 20 \text{ kN/m}^2 \\ 0.4(40) = 16 \text{ kN/m}^2 \end{cases}$$

$$q_H = q_H' + u = \begin{cases} 50 + 20 = 70 \text{ kN/m}^2 \\ 50 + 16 = 66 \text{ kN/m}^2 \end{cases}$$

La distributions des contraintes:

$$\Delta q_r = \frac{q}{\gamma_z} N$$

la charge q1:

$$A: r=0 \Rightarrow \frac{r}{\gamma} = 0 \Rightarrow N = 0.48 \Rightarrow \Delta q_v = 1.92 \text{ kN/m}^2.$$

$$B: r=2.5 \Rightarrow \frac{r}{\gamma} = 0.5 \Rightarrow N = 0.27 \Rightarrow \Delta q_v = 1.08 \text{ kN/m}^2.$$

$$C: r=5 \Rightarrow \frac{r}{\gamma} = 1 \Rightarrow N = 0.08 \Rightarrow \Delta q_v = 0.32 \text{ kN/m}^2.$$

$$D: r=7.5 \Rightarrow \frac{r}{\gamma} = 1.5 \Rightarrow N = 0.025 \Rightarrow \Delta q_v = 0.1 \text{ kN/m}^2.$$

$$E: r=10 \Rightarrow \frac{r}{\gamma} = 2 \Rightarrow N = 0.01 \Rightarrow \Delta q_v = 0.04 \text{ kN/m}^2.$$

La charge q2:

$$A: r=5 \Rightarrow \frac{r}{\gamma} = 1 \Rightarrow N = 0.08 \Rightarrow \Delta q_v = 0.64 \text{ kN/m}^2.$$

$$B: r=2.5 \Rightarrow \frac{r}{\gamma} = 0.5 \Rightarrow N = 0.27 \Rightarrow \Delta q_v = 2.16 \text{ kN/m}^2.$$

$$C: r=0 \Rightarrow \frac{r}{\gamma} = 0 \Rightarrow N = 0.48 \Rightarrow \Delta q_v = 3.84 \text{ kN/m}^2.$$

$$D: r=2.5 \Rightarrow \frac{r}{\gamma} = 0.5 \Rightarrow N = 0.27 \Rightarrow \Delta q_v = 2.16 \text{ kN/m}^2.$$

$$E: r=5 \Rightarrow \frac{r}{\gamma} = 1 \Rightarrow N = 0.08 \Rightarrow \Delta q_v = 0.64 \text{ kN/m}^2.$$

la charge  $q_s$ :

$$A: r = 10 \Rightarrow \frac{r}{z} = 2 \Rightarrow N = 0,01 \Rightarrow \Delta \sigma_v = 0,12 \text{ kN/m}^2.$$

$$B: r = 7,5 \Rightarrow \frac{r}{z} = 1,5 \Rightarrow N = 0,025 \Rightarrow \Delta \sigma_v = 0,3 \text{ kN/m}^2.$$

$$C: r = 5 \Rightarrow \frac{r}{z} = 1 \Rightarrow N = 0,08 \Rightarrow \Delta \sigma_v = 0,96 \text{ kN/m}^2.$$

$$D: r = 2,5 \Rightarrow \frac{r}{z} = 0,5 \Rightarrow N = 0,27 \Rightarrow \Delta \sigma_v = 3,24 \text{ kN/m}^2.$$

$$E: r = 0 \Rightarrow \frac{r}{z} = 0 \Rightarrow N = 0,48 \Rightarrow \Delta \sigma_v = 5,76 \text{ kN/m}^2.$$

Remarque:

Pour les charges ponctuelles, on utilise la figure 11. page 10.

Remarque: Exercice piège! Si, on a dans l'énoncé de l'exercice,  $\gamma_h$  et  $\gamma_s$  pour la

même couche avec une remarque que l'indice des vides est identique pour les couches (et plus).  
On doit d'abord déterminer  $\gamma_{sat}$ , s'il y a une nappe phréatique. En suivant les étapes suivantes.

On a:

$$w_{sat} = \frac{e \gamma_w}{\gamma_s} \quad \text{avec } \gamma_w = 10.$$

$$\gamma_{sat} = \gamma_d (1 + w_{sat}).$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1 + e}$$

$$\gamma_h = \frac{\gamma_s}{1 + e} \left( 1 + \frac{e S \gamma_w}{\gamma_s} \right)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_s}{1 + e} \left( 1 + \frac{e \gamma_w}{\gamma_s} \right)$$

} important.



Ex3:

$q = 250 \text{ kPa} = \text{KN/m}^2$

	Contraintes géostatiques					Contraintes après excavation et avant construction.								Augmentation de contrainte due. à la construction				
	$\sigma_v$	$u$	$\sigma'_v$ ( $\sigma_v - u$ )	$\sigma'_H$ ( $k \cdot \sigma'_v$ )	$\sigma'_H$ $\sigma'_H + u$	$z$	$L$	$B$	$n = \frac{L}{B}$	$m = \frac{B}{z}$	$I_0$	$\Delta \sigma'_{ACEG}$ $= 4 \Delta \sigma'_{HABT}$	$\Delta \sigma'_{exca}$	$z$	$m = \frac{B}{z}$	$n = \frac{L}{z}$	$I_0$	$\Delta \sigma'_{con} = 3 \Delta \sigma'_{HABT}$
0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-					
5	90	50	40	45 36	45 36	0	15	10		0,25	-90	0	0	0	-	-	-	-
10	180	50	130	56	106	5	15	10	3	2	0,237	-85,32	54,68	5	2	3	0,245	111,75
15	270	100	170	76	176	10	15	10	$\frac{3}{2}$	1	0,20	-72	118	5	2	3	0,195	146,25
20	360	150	210	96	246	15	15	10	<del>0,66</del>	0,66	0,143	-51,48	188,52	5	2	3	0,145	108,75
25	450	200	250	116	316	20	15	10	0,75	0,5	0,102	-36,72	253,28	5	2	3	0,105	78,75

$\Delta \sigma'_{ACEG} = 4 \Delta \sigma'_{HABT} = 90(0,237)4 = 85,32 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \text{Symétrie totale. (x4)}$

$\Delta \sigma'_{exca} = \sigma'_v - \Delta \sigma'_{ACEG} = 54,68 \text{ kN/m}^2$

Le calcul des contraintes après excavation se fait par le calcul des contraintes géostatiques (poids propres des sol), lequel on lui enlève la contrainte apportée par l'excavation (On prend l'excavation comme une surcharge sur le reste du sol).



EX5:

J

Géostatique				après l'excavation.						1 <sup>re</sup> de la construction et la 1 <sup>re</sup> finale (const après ex)					
$z(m)$	$\sigma_v(kPa)$	$u(kPa)$	$\sigma'_v(kPa)$	$z(m)$	$m=\frac{1}{3}$	$m=\frac{b}{3}$	$I_0$	$\Delta\sigma_{HJOF} = 4I_0q$	$\Delta\sigma \text{ après excavation}$	$\Delta\sigma(250) = 4\Delta\sigma_{GHIA}$	$\frac{z}{D}$	$J$	$\Delta\sigma(50) \text{ cercle}$	$\Delta\sigma \text{ construction}$	$\frac{6I}{\Delta\sigma \text{ apr} + \Delta\sigma \text{ con.}}$
0				-	-	-	-			II			I	$= I+II$	-
4	68	0	68	0	-	-	-	-68	0	250	$\frac{4}{3}=1,33$	-	-	250	
8	136	0	136	4	2,4	1,25	0,215	-58,48	77,52	215	$\frac{6,5}{3}=2,16$	0,18	9	224	301,52
10,5	191	25	166	6,5	1,53	0,77	0,175	-47,6	118,4	175	$\frac{9}{3}=3$	0,073	3,65	178,65	297,05
13	246	50	196	9	1,1	0,55	0,130	-35,36	160,64	130	$\frac{12,5}{3}=4,16$	0,04	2	132	292,64
16,5	310,5	85	224,5	12,5	0,8	0,4	0,093	-25,28	209,28	93		0,018	0,9	93,9	
20	393	120	273	16	0,623	0,31	0,063	-17,17	255,32	65	$\frac{16}{3}=5,33$	0	0	65	

Remarque:

$q = 4(17) = 68 \text{ kPa. (après l'excavation)}$

$\Delta\sigma \text{ après excavation} = \sigma'_v - \Delta\sigma_{HJOF}$

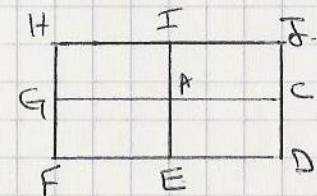
$\Delta\sigma(250)$ : la contrainte du rectangle avec  $q_1 = 250 \text{ kPa}$ . avec:  $\Delta\sigma_{(250)} = 4I_1q_1$

$\Delta\sigma(50)$ : la contrainte du cercle avec  $q_2 = 50 \text{ kPa}$ . avec:  $\Delta\sigma_{(50)} = 4I_2I$

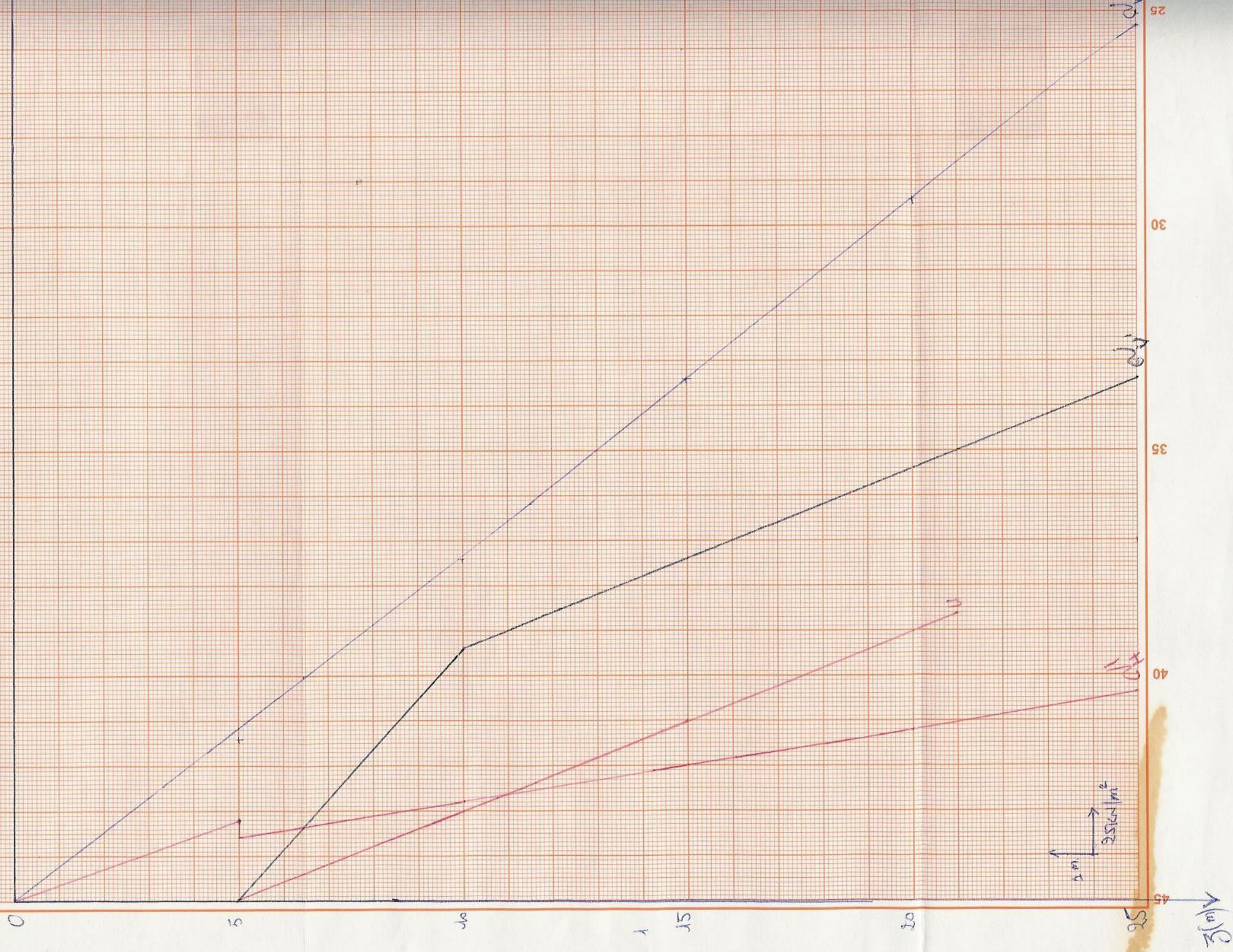
Calcul de  $J$ :

On a:  $1,33 \rightarrow \alpha$   
 $1,25 \rightarrow 0,2$

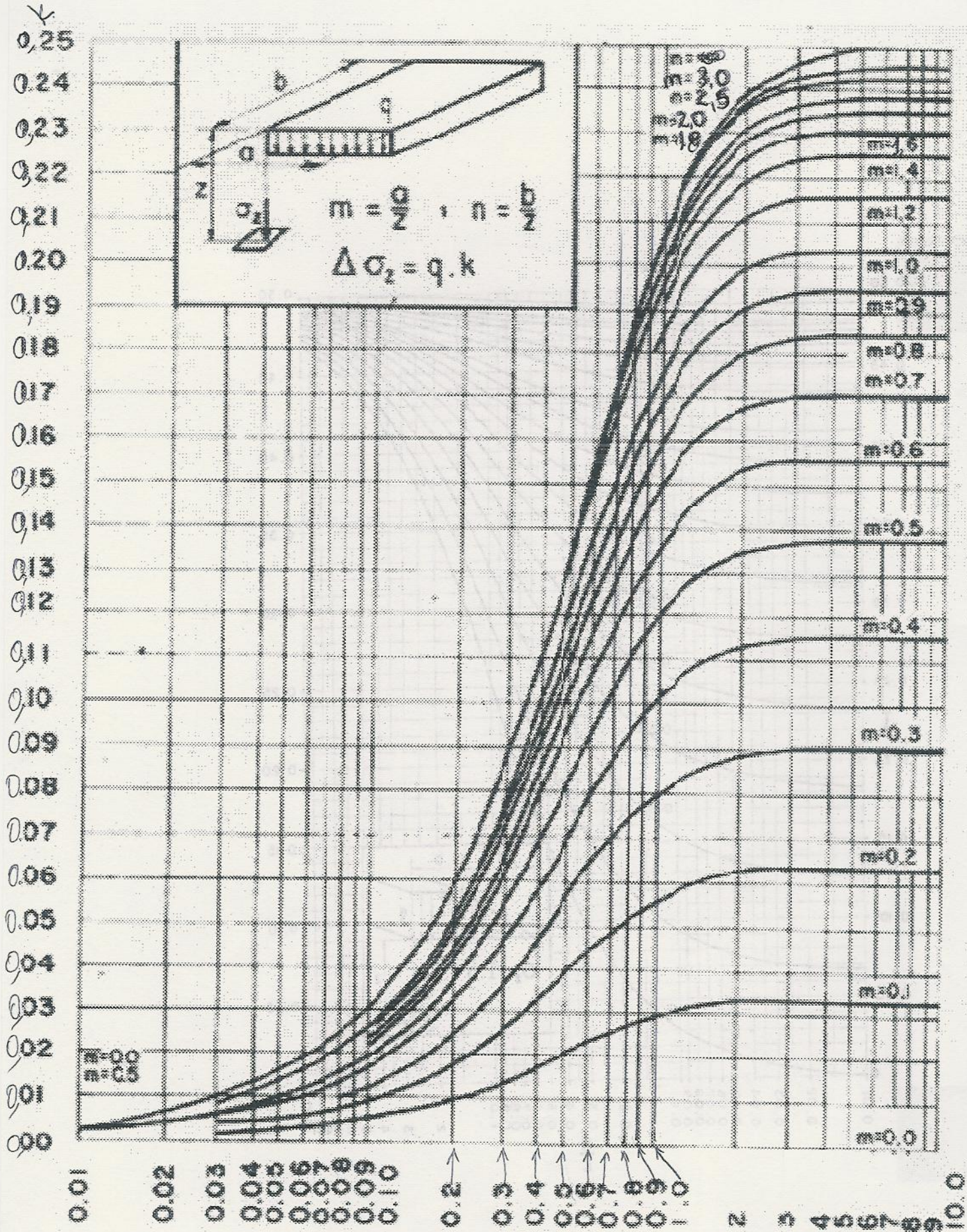
$\alpha = 0,218 \Rightarrow 0,218 - 0,2 = 0,0128$   
 $0,2 - 0,0128 = 0,1872 \ll 1,33$











$m$  et  $n$  sont interchangeables

$$h = \frac{b}{z}$$

- Aboque n° 2 -

charge rectangulaire



$$\Delta\sigma_z = q_0 \cdot J$$

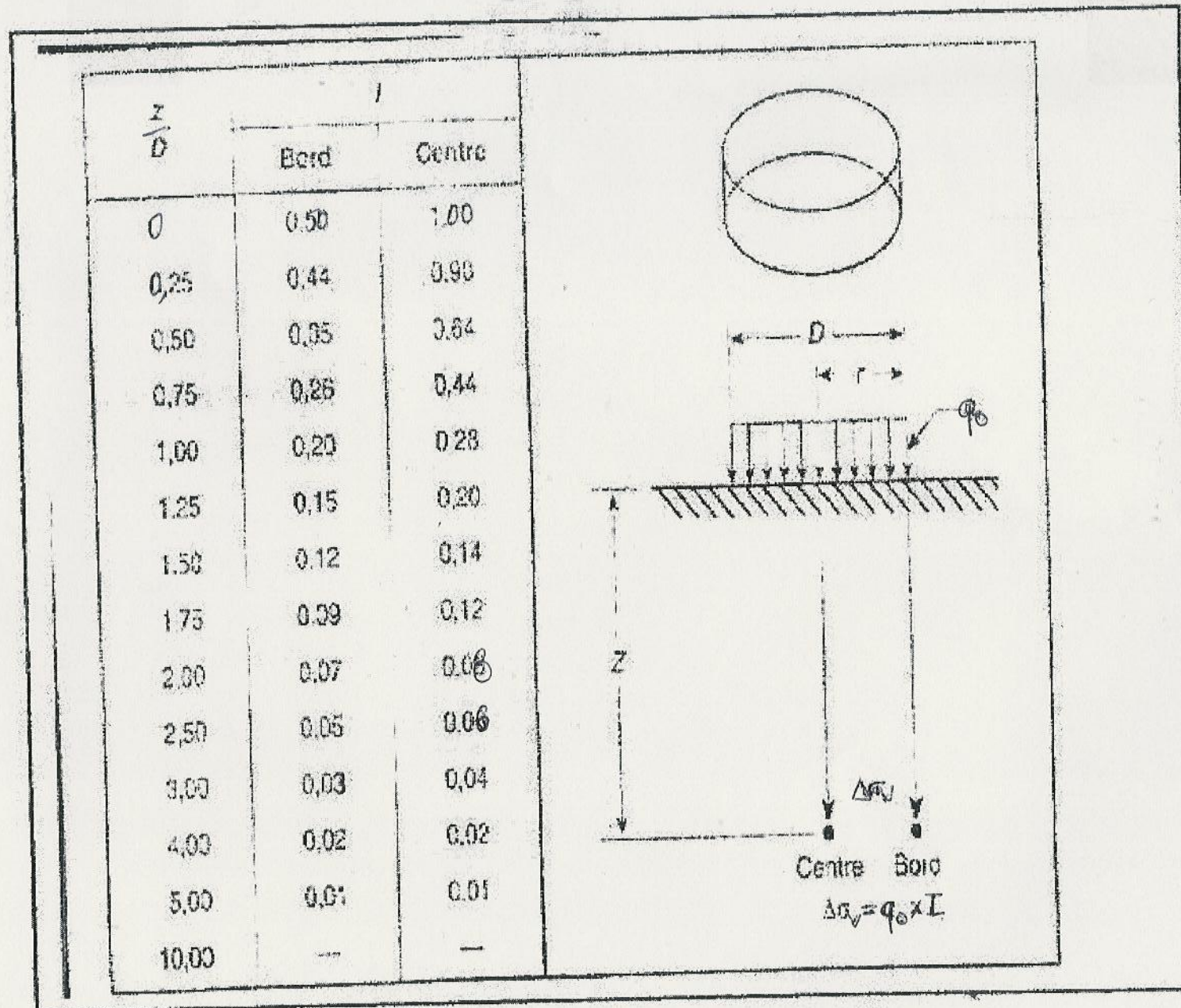
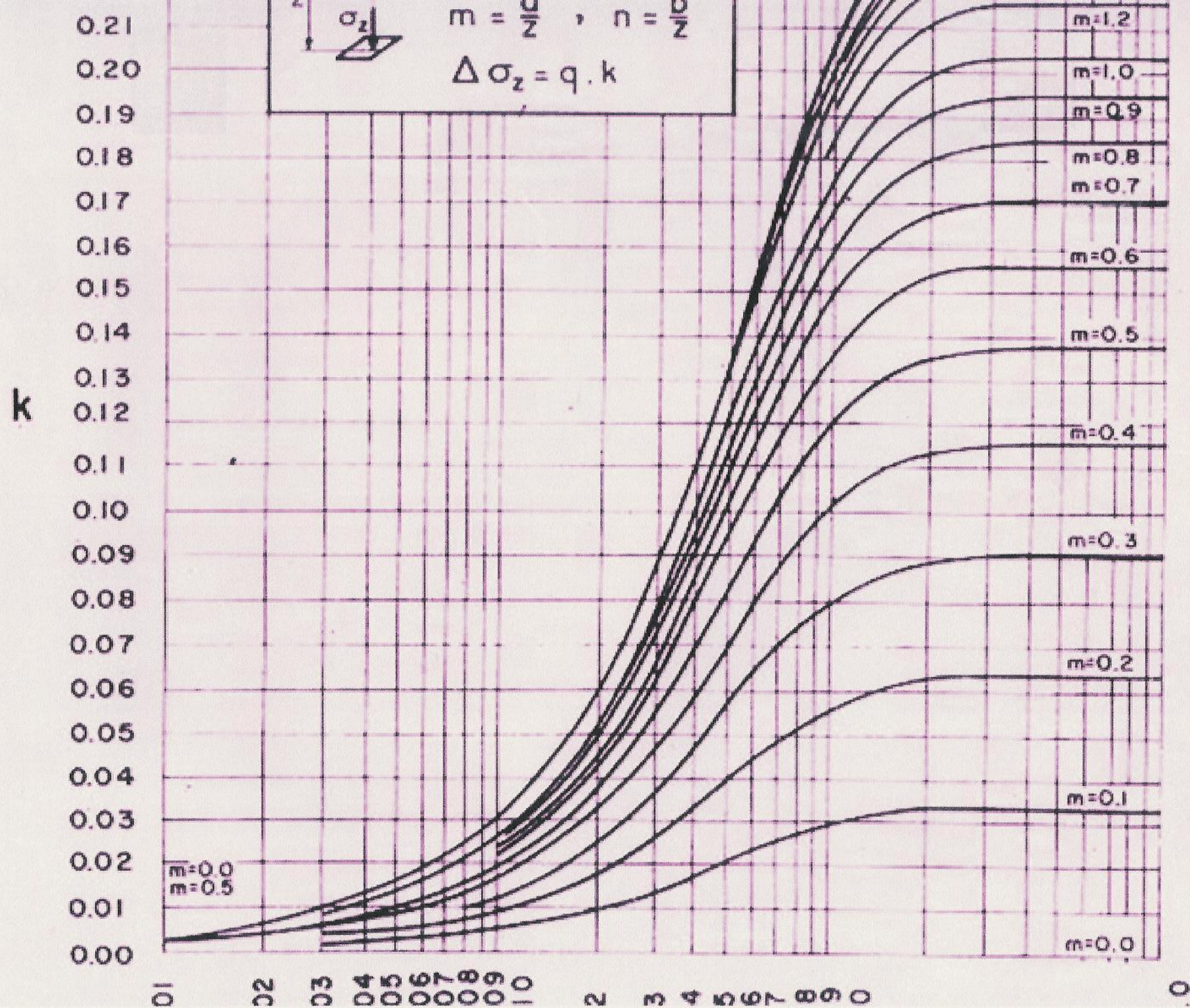
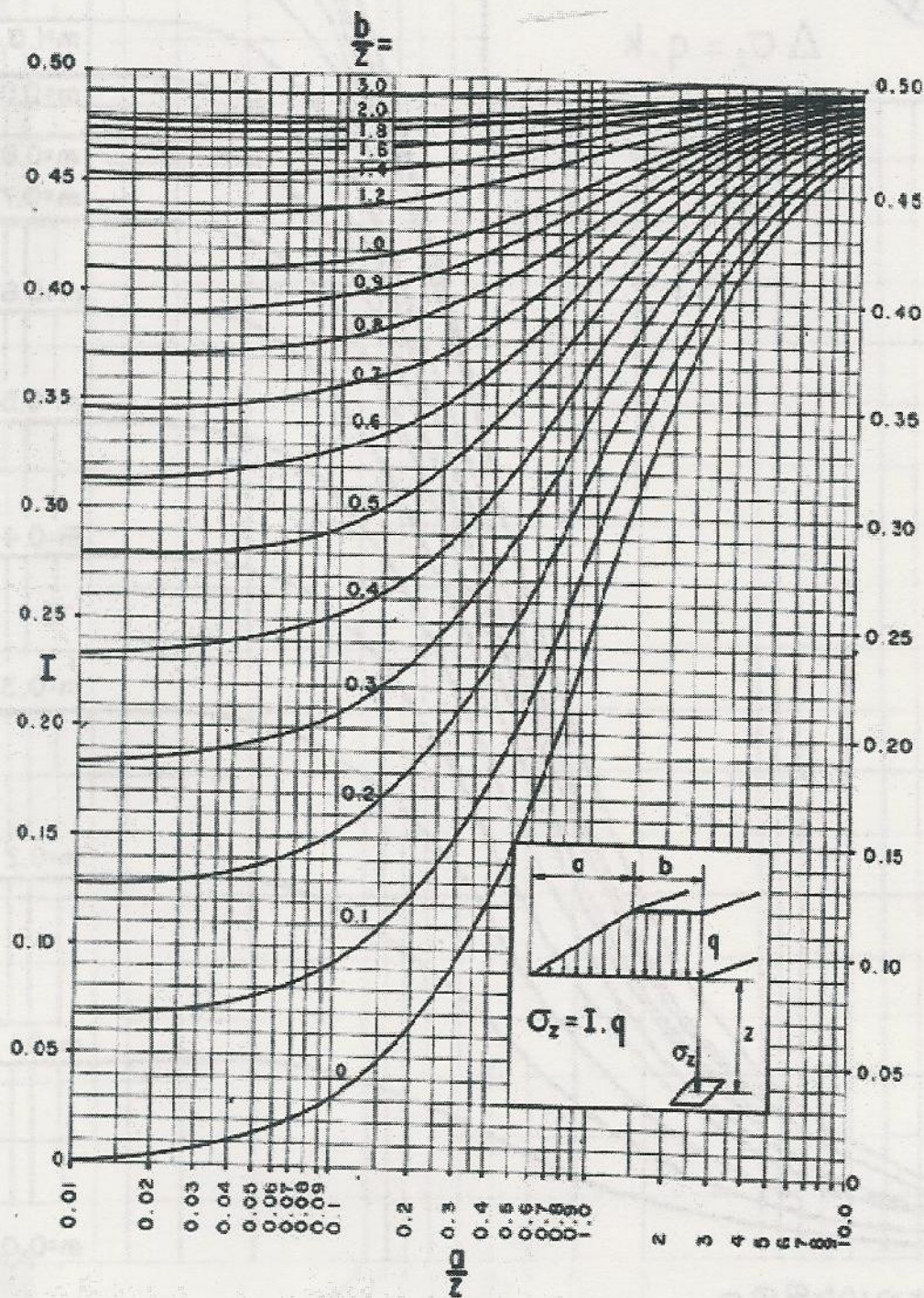


Figure 7 : Charge circulaire









charge en ramblai