

# Cours CTN 504

# Mécanique des sols

Li Li, ing., Ph.D

Professeur en géotechnique  
Département de génie de la construction

Bureau: A-1484

Courriel: li.li@etsmtl.ca



Date	Contenu de cours	Chapitres du livre	Date	Lab/TP
2011-01-04	Introduction et révision	2, 3	2011-01-06	Lab1: Limites de consistance (Casagrande et Cône suédois)
2011-01-11	Minéralogie et structures des sols; Compactage	4, 5	2011-01-13	Lab2: Proctor
2011-01-18	Introduction à l'Hydrogéologie (Hydraulique souterraine)	6, 7	2011-01-20	ED1
2011-01-25	Introduction à l'Hydrogéologie (suite)	6, 7	2011-01-27	Lab3: Perméamètre
2011-02-01	Consolidation et tassement des sols	8	2011-02-03	ED2
2011-02-08	Consolidation et tassement des sols (suite)	8, 9	2011-02-10	
2011-02-15	Consolidation et tassement des sols (suite)	9	2011-02-17	ED3
<b>2011-02-22</b>	<b>Congé relâche</b>			
<b>2011-03-01</b>	<b>EXAMEN (30 % de la note globale, durée : deux (2) heures)</b>		2011-03-03	Lab4: Consolidation
2011-03-08	Cercle de Mohr et théories de rupture	10	2011-03-10	ED4
2011-03-15	Résistance au cisaillement des sables et des argiles	11	2011-03-17	Lab5: Cisaillement direct
2011-03-22	Résistance au cisaillement des sables et des argiles (suite)	11	2011-03-23	ED5
2011-03-29	Essais au lab et in-situ		2011-03-31	Lab 6: Cône suédois
2011-04-05	Introduction à la géotechnique (Application de mécanique des sols)		2011-04-07	ED6

# Consolidation et tassement des sols

## (Séance 3<sup>e</sup>/3)



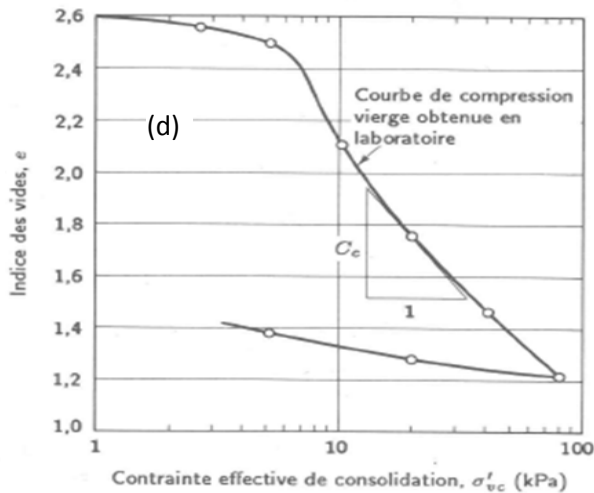
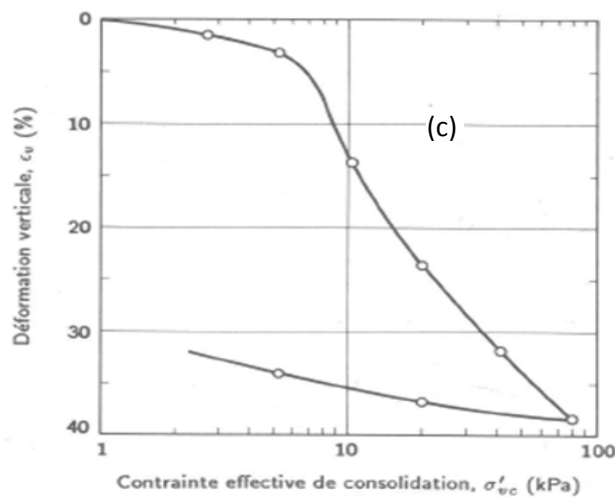
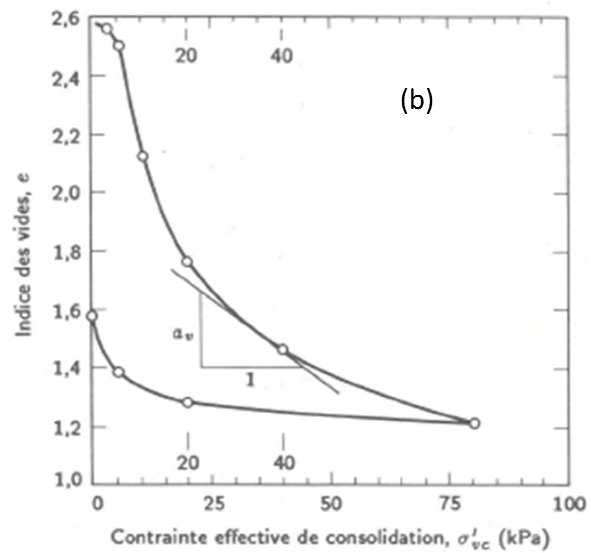
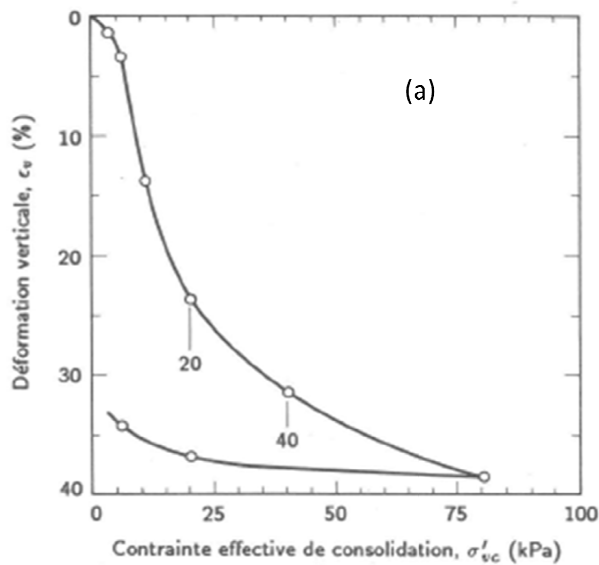
# CTN 504 – Mécanique des sols

Département de génie de la construction - École de technologie supérieure

©Li Li, ing., Ph.D., Professeur, 2011

## 3<sup>e</sup> Séance d'exercice dirigé, 15 janvier 2011

**Exercice 1:** Vous avez un dépôt d'argile submergé en surface. Les essais de consolidation sur des échantillons prélevés d'une profondeur de 20 cm donnent les résultats suivants. Calculer les paramètres pertinents ( $\sigma'_p$ ,  $a_v$ ,  $m_v$ ,  $D$  ou  $E_{oed}$ ,  $C_c$ ,  $C_{ce}$ ,  $C_r$ ,  $C_{re}$ , OCR).



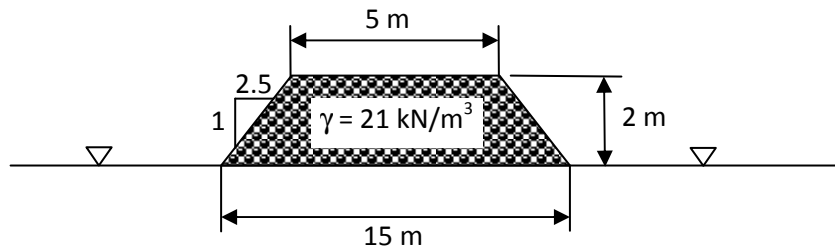
Résultats des essais de consolidation (tirés du livre Holtz et Kovacs 2008 traduit par Lafleur)

**Exercice 2:** Vous faites une construction rapide sur un dépôt d'argile submergée jusqu'en surface libre. La fondation a une dimension 3 m par 4 m qui supporte une charge de 2000 kN. Donner la distribution de contraintes totales et effectives, horizontales et verticales sous le centre de la fondation avant (à court terme) et après le drainage (à long terme), en appliquant les méthodes :

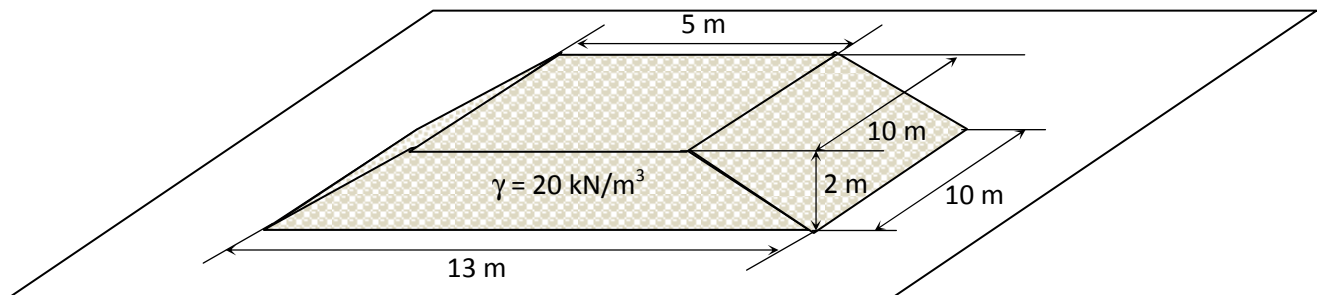
- Méthode 2 pour 1
- Solution de Newmark
- Solution de Westergaard

Les propriétés de l'argile sont :  $\gamma_{\text{tot}} = 20 \text{ kN/m}^3$ ,  $\phi' = 20^\circ$ .

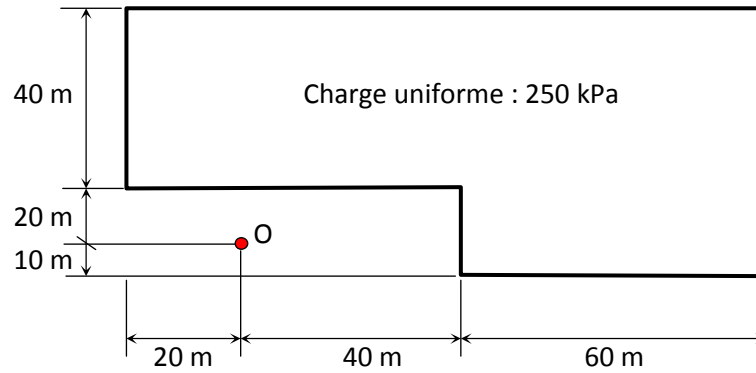
**Exercice 3:** Vous faites une construction routière avec du remblai sur un dépôt d'argile submergée jusqu'en surface libre. Les dimensions d'une coupe-section et les propriétés du remblai routier sont illustrées sur la figure. Les propriétés de l'argile sont :  $\gamma_{\text{tot}} = 20 \text{ kN/m}^3$ ,  $\phi' = 20^\circ$ . Donner la distribution de contraintes totales et effectives, horizontales et verticales sous le centre de la fondation après le drainage (à long terme).



**Exercice 4:** Vous faites une construction résidentielle sur un dépôt d'argile submergée jusqu'en surface libre. Avant la construction, vous effectuez une préconsolidation avec un remblai dont les dimensions et propriétés sont montrées sur la figure suivante. Les propriétés de l'argile sont :  $\gamma_{\text{tot}} = 19 \text{ kN/m}^3$ ,  $\phi' = 20^\circ$ . Calculer les contraintes totales et effectives, horizontales et verticales sous le centre du remblai à une profondeur de 10 m après le drainage (à long terme).



**Exercice 5:** Vous faites une construction résidentielle sur un dépôt d'argile submergée jusqu'en surface libre. Les dimensions de votre fondation sont montrées sur la figure suivante. Le poids volumique total de l'argile est  $\gamma_{\text{tot}} = 20 \text{ kN/m}^3$ . Calculer les contraintes verticale totale et effective sous le point O à une profondeur de 10 m après le drainage (à long terme).



### 3<sup>e</sup> Séance d'exercice dirigé, 15 février 2011

#### Exercice 1

1. Coefficient de compressibilité,  $a_v$

$$a_v = -\frac{de}{d\sigma_v'} = \frac{e_1 - e_2}{\sigma_2' - \sigma_1'}$$

$\sigma_v'$ (kPa)	$e$	$a_v$
5	2.5	} $a_v = \frac{e_1 - e_2}{\sigma_2' - \sigma_1'} = \frac{2.5 - 2.12}{10 - 5} = 0.076 \text{ kPa}^{-1}$
10	2.12	
20	1.75	} $a_v = \frac{2.12 - 1.75}{20 - 10} = 0.037 \text{ kPa}^{-1}$
40	1.46	
80	1.2	} $a_v = \frac{1.75 - 1.46}{40 - 20} = 0.0145 \text{ kPa}^{-1}$
		} $a_v = \frac{1.46 - 1.2}{80 - 40} = 0.0065 \text{ kPa}^{-1}$

On voit que  $a_v$  n'est pas constant. Il diminue en fonction de l'augmentation de contrainte effective (consolidation).

2. Coefficient de changement de volume,  $m_v$

$$m_v = \frac{d\varepsilon_v}{d\sigma_v'} = \frac{\varepsilon_{v2} - \varepsilon_{v1}}{\sigma_2' - \sigma_1'}$$



$\bar{\sigma}_v' (\text{kPa})$	$\epsilon_v$	$m_v (\text{kPa}^{-1})$	
5	0.03	} $m_v = \frac{\epsilon_{v2} - \epsilon_{v1}}{\bar{\sigma}_v' - \bar{\sigma}_v} = \frac{0.13 - 0.03}{10 - 5} = 0.02$	$m_v = \frac{\alpha_v}{1 + e_0} = \frac{0.076}{1 + 2.5} = 0.022$
10	0.13		$m_v = \frac{0.037}{1 + 2.5} = 0.011$
20	0.23	} $m_v = \frac{0.31 - 0.23}{40 - 20} = 0.004$	$m_v = \frac{0.0145}{1 + 2.5} = 0.004$
40	0.31		$m_v = \frac{0.0065}{1 + 2.5} = 0.0019$
80	0.37	} $m_v = \frac{0.37 - 0.31}{80 - 40} = 0.0015$	

### 3. Module oedométrique, $D$ ou $E_{oed}$

$\bar{\sigma}_v'$	$\epsilon_v$	$D$ ou $E_{oed} (\text{kPa})$	$D = E_{oed} = \frac{d\bar{\sigma}_v'}{d\epsilon_v}$
5	0.03	} $D = \frac{\bar{\sigma}_v' - \bar{\sigma}_v}{\epsilon_v' - \epsilon_v} = \frac{10 - 5}{0.13 - 0.03} = 50$	$= \frac{1}{m_v}$
10	0.13		
20	0.23	} $D = 1/m_v = \frac{1}{0.01} = 100$	
40	0.31	} $D = \frac{1}{0.004} = 250$	
80	0.37	} $D = \frac{1}{0.0015} = 667$	

on voit que le module oedométrique augmente avec la consolidation.

### 4. Indice de compression, $C_c$ (pente de la courbe vierge)

$$C_c = - \frac{de}{d \log \bar{\sigma}_v'} = \frac{e_1 - e_2}{\log \bar{\sigma}_v' - \log \bar{\sigma}_v} = \frac{2.12 - 1.46}{40 - 10} = 0.022$$



5. Indice de compression modifié,  $C_{ce}$

$$C_{ce} = \frac{d\varepsilon_v}{d \log \sigma'_v} = \frac{\varepsilon_{v2} - \varepsilon_{v1}}{\log \frac{\sigma'_{v2}}{\sigma'_{v1}}} = \frac{0.37 - 0.23}{\log \frac{80}{20}} = 0.23$$

6. Indice de recompression,  $C_r$  (pente de la courbe de recompression)

$$C_r = \frac{-de}{d \log \sigma'_v} = \frac{e_1 - e_2}{\log \frac{\sigma'_{v2}}{\sigma'_{v1}}} = \frac{1.21 - 1.38}{\log \left( \frac{5}{80} \right)} = 0.14$$

7. Indice de recompression modifié,  $C_{re}$ :

$$C_{re} = \frac{d\varepsilon_v}{d \log \sigma'_v} = \frac{\varepsilon_{v2} - \varepsilon_{v1}}{\log \frac{\sigma'_{v2}}{\sigma'_{v1}}} = \frac{0.33 - 0.38}{\log \left( \frac{5}{80} \right)} = 0.04$$

8. Pression de préconsolidation,  $\sigma'_p$

La méthode simplifiée donne  $\sigma'_p = 6.1 \text{ kPa}$

9. Rapport de surconsolidation, OCR

$$\text{OCR} = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}}$$

erreur

$$\sigma'_{v0} = \gamma_{\text{sub}} \cdot h = (20 - 10) \times 0.2 = 4 \text{ kPa} \quad 2 \text{ kPa}$$

$$\text{OCR} \approx \frac{6.1 \text{ kPa}}{4 \text{ kPa}} \approx 1.5 \quad 3$$

C'est une argile légèrement surconsolidée.

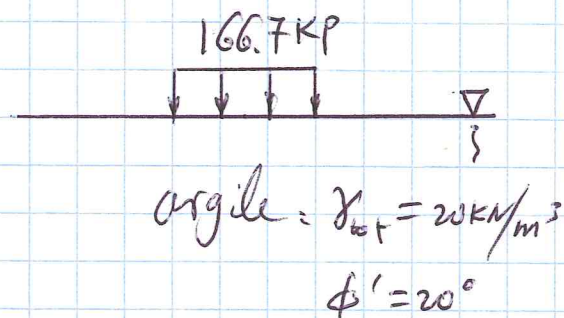


## Exercice 2

La pression exercée par la fondation à la base de la fondation est :

$$q_0 = \frac{P}{B \cdot L} = \frac{2000 \text{ kN}}{3 \text{ m} \times 4 \text{ m}} = 166.7 \text{ kPa}$$

Avant la mise en place de la fondation, les distributions de contraintes sont :



$$\sigma_v = \gamma \cdot z = 20 \cdot z$$

$$\sigma_v' = \sigma_v - u_w = \sigma_v - \gamma_w \cdot z = 20 \cdot z - 10 \cdot z = 10 \cdot z$$

$$\sigma_h' = K_0 \sigma_v' = (1 - \sin \phi') \text{OCR} \overset{\sin \phi'}{\sigma_v'} \approx (1 - \sin 20^\circ) \cdot 1 \cdot \overset{\sin 20^\circ}{\sigma_v'} = 0.658 \sigma_v'$$

$$= 0.658 \times 10 \cdot z = 6.58 \cdot z$$

$$\sigma_h = \sigma_h' + u_w = 6.58 \cdot z + 10 \cdot z = 16.58 \cdot z$$

À court terme, l'augmentation de charge par la fondation est complètement prise en charge par l'eau sous la fondation.

On a alors :

$$\Delta u = q_0 = 166.7 \text{ kPa}$$

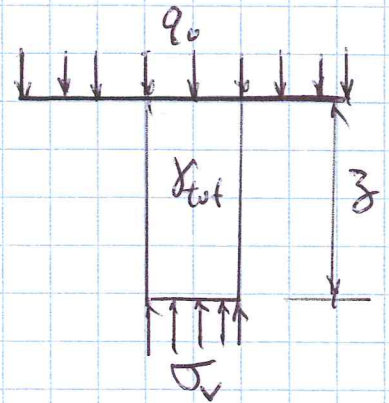
C'est la pression interstitielle excessive dans l'argile, non seulement sous la fondation immédiate, mais aussi adjacente.

$$u_w = \gamma_w \cdot z + \Delta u = 10 \cdot z + 166.7 \text{ nouvelle pression interst.}$$



Pour déduire les contraintes sous la fondation, on rappelle le grand principe d'équilibre, c'est l'équilibre de force totale.

$$\begin{aligned}\sigma_v &= q_0 + \gamma_{\text{tot}} \cdot z \\ &= 166.7 + 20 \cdot z \quad (\text{augmentée})\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\sigma_v' &= \sigma_v - u_w = 166.7 + 20 \cdot z \\ &\quad - (10 \cdot z + 166.7) \\ &= 10 \cdot z \quad (\text{inchangée})\end{aligned}$$

$$\bar{\sigma}_h' = K_0 \cdot \sigma_v' = 0.658 \cdot 10 \cdot z = 6.58 \cdot z \quad (\text{inchangée})$$

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_h &= \bar{\sigma}_h' + u_w = 6.58 \cdot z + (10 \cdot z + 166.7) \\ &= 16.58 \cdot z + 166.7 \quad (\text{augmentée})\end{aligned}$$

Question : On dit souvent que la construction à court terme est la plus critique par rapport à long terme. On dit aussi que la résistance des sols est toujours contrôlée par les contraintes effectives. Les calculs ci-haut montrant qu'il n'y a pas de changement aux contraintes effectives, par conséquent pas de changement aux résistances de sol. Comment expliquer cette contradiction ?

Réponse : Vérifier les nouvelles distributions de contraintes à côté de la fondation sous le sol :



(6)

$$\sigma_v = \gamma \cdot z = 20 \cdot z \quad (\text{pas de changement})$$

$$\sigma_v' = \sigma_v - u_w = 20 \cdot z - (10 \cdot z + 166.7) = 10 \cdot z - 166.7$$

$$\sigma_a' = K_0 \cdot \sigma_v' = 0.658 \cdot (10 \cdot z - 166.7) = 6.58 \cdot z - 109.7$$

$$\begin{aligned} \sigma_h &= \sigma_a' + u_w = 6.58 \cdot z - 109.7 + (10 \cdot z + 166.7) \\ &= 16.58 \cdot z + 57 \quad (\text{augmentée}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_v - \sigma_h &= 20 \cdot z - (16.58 \cdot z + 57) \\ &= 3.42 \cdot z - 57 \quad (\text{diminuée}) \end{aligned}$$

À long terme (sel on condition drainée), la pression interstitielle se dissipe. C'est le sol qui reprend la charge de la fondation. Les contraintes verticale totale et effective vont augmenter de la même quantité par rapport à l'état initial avant la construction.

1. Methode 2 pour 1

L'augmentation de pression due à la fondation est:

$$\Delta \sigma_z = \frac{q_0 \cdot B \cdot L}{(B+z)(L+z)} = \frac{2000 \text{ kN}}{(3+z)(4+z)}$$

$$\sigma_v = \gamma \cdot z + \Delta \sigma_z = 20 \cdot z + \frac{2000}{(3+z)(4+z)}$$

$$\sigma_v' = \sigma_v - u_w = \left[ 20 \cdot z + \frac{2000}{(3+z)(4+z)} \right] - 10 \cdot z = 10 \cdot z + \frac{2000}{(3+z)(4+z)}$$

$$\sigma_h' = K_0 \cdot \sigma_v' = 0.658 \left[ 10 \cdot z + \frac{2000}{(3+z)(4+z)} \right] = 6.58 \cdot z + \frac{1316}{(3+z)(4+z)}$$



$$\begin{aligned} \sigma_R &= \sigma_R' + u_w = \left[ 6.58 \cdot z + \frac{1316}{(3+z)(4+z)} \right] + 10 \cdot z \\ &= 16.58 \cdot z + \frac{1316}{(3+z)(4+z)} \end{aligned}$$

2. Solution de Newmark (Théorie de Boussinesq)

L'augmentation de contrainte due à la fondation sous le centre de la fondation est

$$\begin{aligned} \Delta \sigma_z &= 4 \times 9 \cdot I = 4 \times 166.7 \cdot I \\ &= 666.8 \cdot I \end{aligned}$$

$$m = \frac{b}{z} = \frac{3/2}{z} = \frac{1.5}{z}$$

$$n = \frac{l}{z} = \frac{4/2}{z} = \frac{2}{z}$$

z(m)	u <sub>w</sub> (kPa)	σ <sub>vp</sub> (kPa) initiale	m	n	I	Δσ <sub>z</sub>	σ <sub>v</sub> (kPa) = σ <sub>v0</sub> + Δσ <sub>z</sub>	σ <sub>v</sub> ' (kPa) = σ <sub>v</sub> - u <sub>w</sub>	σ <sub>R</sub> ' (kPa) = K <sub>0</sub> σ <sub>v</sub> '	σ <sub>R</sub> (kPa) = σ <sub>R</sub> ' + u <sub>w</sub>
0	0	0				166.7	0 + 166.7 = 166.7	166.7 - 0 = 166.7	0.658 × 166.7 = 109.7	109.7 + 0 = 109.7
1	10	20	1.5	2	0.223	148.7	20 + 148.7 = 168.7	168.7 - 10 = 158.7	0.658 × 158.7 = 104.4	104.4 + 10 = 114.4
2	20	40	0.75	1	0.16	106.7	40 + 106.7 = 146.7	146.7 - 20 = 126.7	83.3	103.3
3	30	60	0.5	0.67	0.10	66.7	60 + 66.7 = 126.7	126.7 - 30 = 96.7	63.6	93.6
4	40	80	0.375	0.5	0.066	44.0	80 + 44.0 = 124.0	124 - 40 = 84	55.3	95.3
6	60	120	0.25	0.333	0.033	22.0	120 + 22 = 142	142 - 60 = 82	54	114
8	80	160	0.1875	0.25	0.02	13.3	160 + 13.3 = 173.3	173.3 - 80 = 93.3	61.4	141.4
10	100	200	0.15	0.2	0.015	10	200 + 10 = 210	210 - 100 = 110	72.4	172.4



### 3. Solution de Westergaard

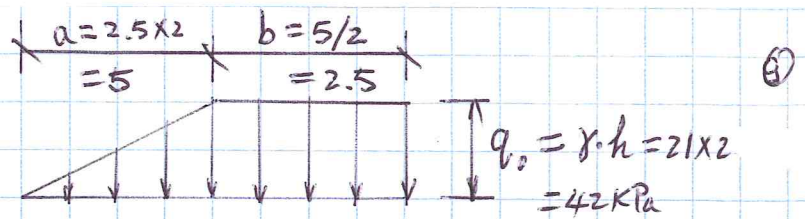
$$\Delta\sigma_z = 4 \times q_0 \cdot I = 4 \times 166.7 \cdot I = 666.8 \cdot I$$

$$m = \frac{b}{z} = \frac{3/2}{z} = \frac{1.5}{z} \quad n = \frac{l}{z} = \frac{4/2}{z} = \frac{2}{z}$$

z(m)	u <sub>w</sub> (kPa)	σ <sub>vo</sub> (kPa)	m	n	I	Δσ <sub>z</sub>	σ <sub>v</sub> (kPa) =σ <sub>vo</sub> +Δσ <sub>z</sub>	σ <sub>v</sub> ' (kPa) =σ <sub>v</sub> -u <sub>w</sub>	σ <sub>R</sub> ' (kPa) =K <sub>0</sub> σ <sub>v</sub> '	σ <sub>R</sub> (kPa) =σ <sub>R</sub> '+u <sub>w</sub>
0	0	0				166.7	0+166.7 =166.7	166.7-0 =166.7	0.658×166.7 =109.7	109.7+0 =109.7
1	10	20	1.5	2	0.161	107.4	20+107.4 =127.4	127.4-10 =117.4	0.658×117.4 =77.2	77.2+10 =87.2
2	20	40	0.75	1	0.101	67.3	107.3	87.3	57.5	77.5
3	30	60	0.5	0.67	0.065	43.3	103.3	73.3	48.3	78.3
4	40	80	0.375	0.5	0.042	28.0	108.0	68	44.7	84.7
6	60	120	0.25	0.333	0.022	14.7	134.7	74.7	49.1	109.1
8	80	160	0.1875	0.25	0.011	7.3	167.3	87.3	57.5	137.5
10	100	200	0.15	0.2	0.009	6.0	206	106	69.7	169.7



### Exercice 3



La distribution des contraintes initiale avant la construction :

$$\sigma_v = \gamma_{tot} \cdot z = 20 \cdot z$$

$$\sigma_v' = \sigma_v - u_w = 20 \cdot z - 10 \cdot z = 10 \cdot z$$

$$\begin{aligned} \sigma_{R'} &= K_0 \sigma_v' = (1 - \sin \phi') \cdot 10 \cdot z = (1 - \sin 20^\circ) \times 10 \cdot z \\ &= 6.58 \cdot z \end{aligned}$$

$$\sigma_R = \sigma_{R'} + u_w = 6.58 \cdot z + 10 \cdot z = 16.58 \cdot z$$

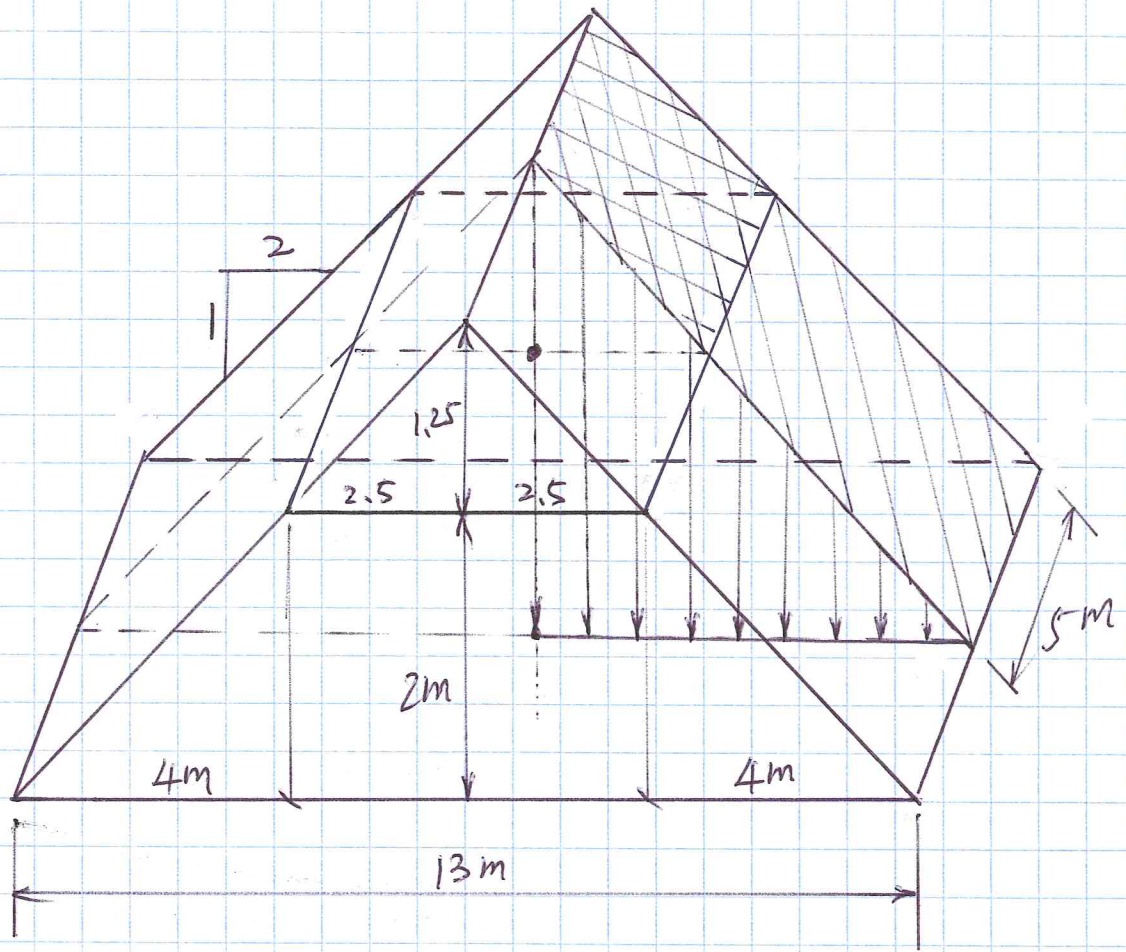
L'augmentation de contrainte due à la mise en place du remblai est :

$$\Delta \sigma_z = 2 \times q_0 \cdot I = 2 \times (21 \times 2) \cdot I = 84 \cdot I$$

$z(m)$	$u_w$ (kPa)	$\sigma_{v0}$ (kPa)	$\frac{a}{z}$	$\frac{b}{z}$	$I$	$\Delta \sigma_z$ (kPa)	$\sigma_v$ (kPa) $= \sigma_{v0} + \Delta \sigma_z$	$\sigma_v'$ (kPa) $= \sigma_v - u_w$	$\sigma_{R}'$ (kPa) $= K_0 \sigma_v'$	$\sigma_R$ (kPa) $= \sigma_{R}' + u_w$
0	0	0				42	$0 + 42 = 42$	$42 - 0 = 42$	$0.658 \times 42 = 27.6$	$27.6 + 0 = 27.6$
1	10	20	5	2.5	0.495	41.6	$20 + 41.6 = 61.6$	$61.6 - 10 = 51.6$	$0.658 \times 51.6 = 33.9$	$33.9 + 10 = 43.9$
2	20	40	2.5	1.25	0.48	40.3	80.3	60.3	39.7	59.7
3	30	60	1.667	0.833	0.455	38.2	98.2	68.2	44.9	74.9
4	40	80	1.25	0.625	0.426	35.8	115.8	75.8	49.9	89.9
6	60	120	0.833	0.417	0.363	30.5	150.5	90.5	59.5	119.5
8	80	160	0.625	0.313	0.303	25.5	185.5	105.5	69.4	149.4
10	100	200	0.5	0.25	0.266	22.3	222.3	185.5	80.5	180.5



# Exercice 4



Considérons un quart de la géométrie avec la pyramide ajoutée.

$$L = 5 \text{ m}, \quad B = 4 + 2.5 = 6.5 \text{ m}$$

$$q_0 = \gamma(2 + 1.25) = 20 \times 3.25 = 65 \text{ kPa}$$

Profondeur  $z = 10 \text{ m}$ ,

$$m = L/z = 5/10 = 0.5$$

$$n = B/z = 6.5/10 = 0.65$$

Le graphique Figure 8.24 donne  $I = 0.053$

Variation de contrainte totale est

$$(\Delta \sigma_z) = 4 \times I \cdot q_0 = 4 \times 0.053 \times 65 = 13.8 \text{ kPa}$$

La partie ajoutée a les géométries suivante :

$$L = 5 \text{ m}, \quad B = 2.5 \text{ m}$$

$$q_0 = \gamma(1.25) = 20 \times 1.25 = 25 \text{ kPa}$$

$$m = L/z = 5/10 = 0.5$$

$$n = B/z = 2.5/10 = 0.25$$

La figure 8.24 donne  $I = 0.022$ . La variation de contrainte totale sur-ajoutée est

$$(\Delta \sigma_z)_{\text{fictive}} = 4 \times I \cdot q_0 = 4 \times 0.022 \times 25 = 2.2 \text{ kPa}$$

L'augmentation de contrainte réelle à cause du renbellei est donc

$$\Delta \sigma_z = (\Delta \sigma_z)_{\text{totale}} - (\Delta \sigma_z)_{\text{fictive}} = 13.8 - 2.2 = 11.6 \text{ kPa}$$

Les contraintes totale et effective après le drainage sont :

$$\sigma_v = \gamma_{\text{tot}} \cdot z + \Delta \sigma_z = 19 \times 10 + 11.6 = 201.6 \text{ kPa}$$

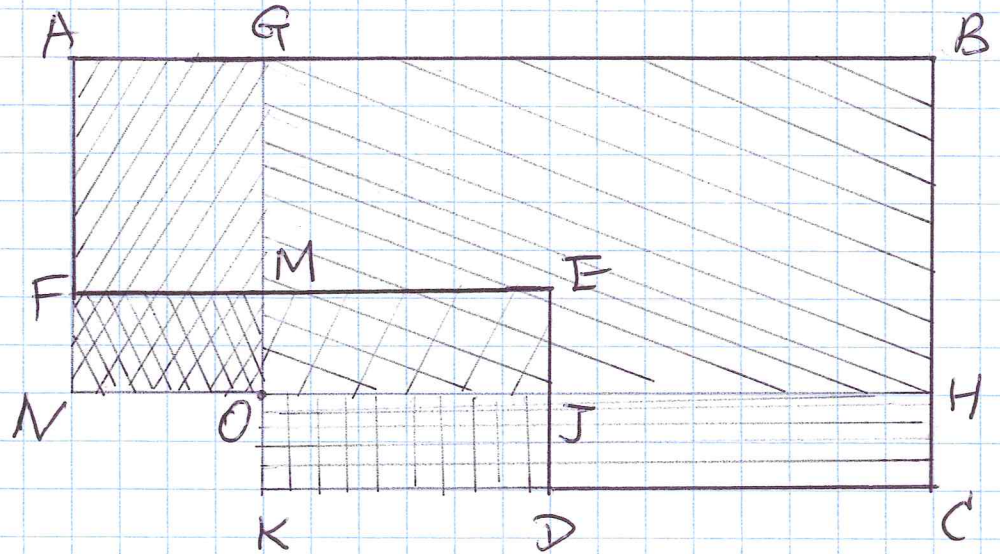
$$\sigma_v' = \sigma_v - \gamma_w \cdot z = 201.6 - 10 \times 10 = 101.6 \text{ kPa}$$

$$\sigma_h' = K_0 \sigma_v' = (1 - \sin 20^\circ) \times 101.6 = 66.9 \text{ kPa}$$

$$\sigma_h = \sigma_h' + \gamma_w \cdot z = 66.9 + 10 \times 10 = 166.9 \text{ kPa}$$



## Exercice 5



On applique le principe de superposition :

$$(AGON - FMON) + (GBHO - MEJO) \\ + (HCKO - JDKO)$$

$$AGON: L = 40 + 20 = 60 \text{ m} \quad B = 20 \text{ m}$$

$$m = \frac{B}{8} = \frac{20}{10} = 2 \quad n = \frac{60}{10} = 6$$

Figure 8.21 donne  $I = 0.24$

$$(\Delta \sigma_z)_{AGON} = q_0 \cdot I = 250 \times 0.24 = 60 \text{ kPa}$$

$$FMON: L = B = 20 \quad m = n = \frac{20}{10} = 2$$

$$I = 0.233$$

$$(\Delta \sigma_z)_{FMON} = q_0 \cdot I = 250 \times 0.233 = 58.3 \text{ kPa}$$

$$\text{GBHO: } L = 40 + 60 = 100 \text{ m} \quad B = 40 + 20 = 60 \text{ m}$$

$$m = \frac{B}{z} = \frac{60}{10} = 6 \quad n = \frac{L}{z} = \frac{100}{10} = 10$$

$$I \approx 0,25$$

$$(\Delta \sigma_z)_{\text{GBHO}} = q_0 \cdot I = 250 \times 0,25 = 62,5 \text{ kPa}$$

$$\text{MEJO: } L = 40 \text{ m} \quad B = 20 \text{ m}$$

$$m = \frac{B}{z} = \frac{20}{10} = 2 \quad n = \frac{L}{z} = \frac{40}{10} = 4$$

$$I \approx 0,239$$

$$(\Delta \sigma_z)_{\text{MEJO}} = q_0 \cdot I = 250 \times 0,239 = 59,8 \text{ kPa}$$

$$\text{HCKO: } L = 40 + 60 = 100 \text{ m} \quad B = 10 \text{ m}$$

$$m = \frac{10}{10} = 1 \quad n = \frac{100}{10} = 10$$

$$I = 0,205$$

$$(\Delta \sigma_z)_{\text{HCKO}} = q_0 \cdot I = 250 \times 0,205 = 51,3 \text{ kPa}$$

$$\text{JDKO: } L = 40 \text{ m} \quad B = 10 \text{ m}$$

$$m = \frac{10}{10} = 1 \quad n = \frac{40}{10} = 4$$

$$I = 0,204$$

$$(\Delta \sigma_z)_{\text{JDKO}} = q_0 \cdot I = 250 \times 0,204 = 51 \text{ kPa}$$

L'augmentation de contrainte totale due à la fondation est:

$$\Delta \sigma_z = [(\Delta \sigma_z)_{\text{AGON}} - (\Delta \sigma_z)_{\text{FNON}}] + [(\Delta \sigma_z)_{\text{GBHO}} - (\Delta \sigma_z)_{\text{MEJO}}] + [(\Delta \sigma_z)_{\text{HCKO}} - (\Delta \sigma_z)_{\text{JDKO}}]$$



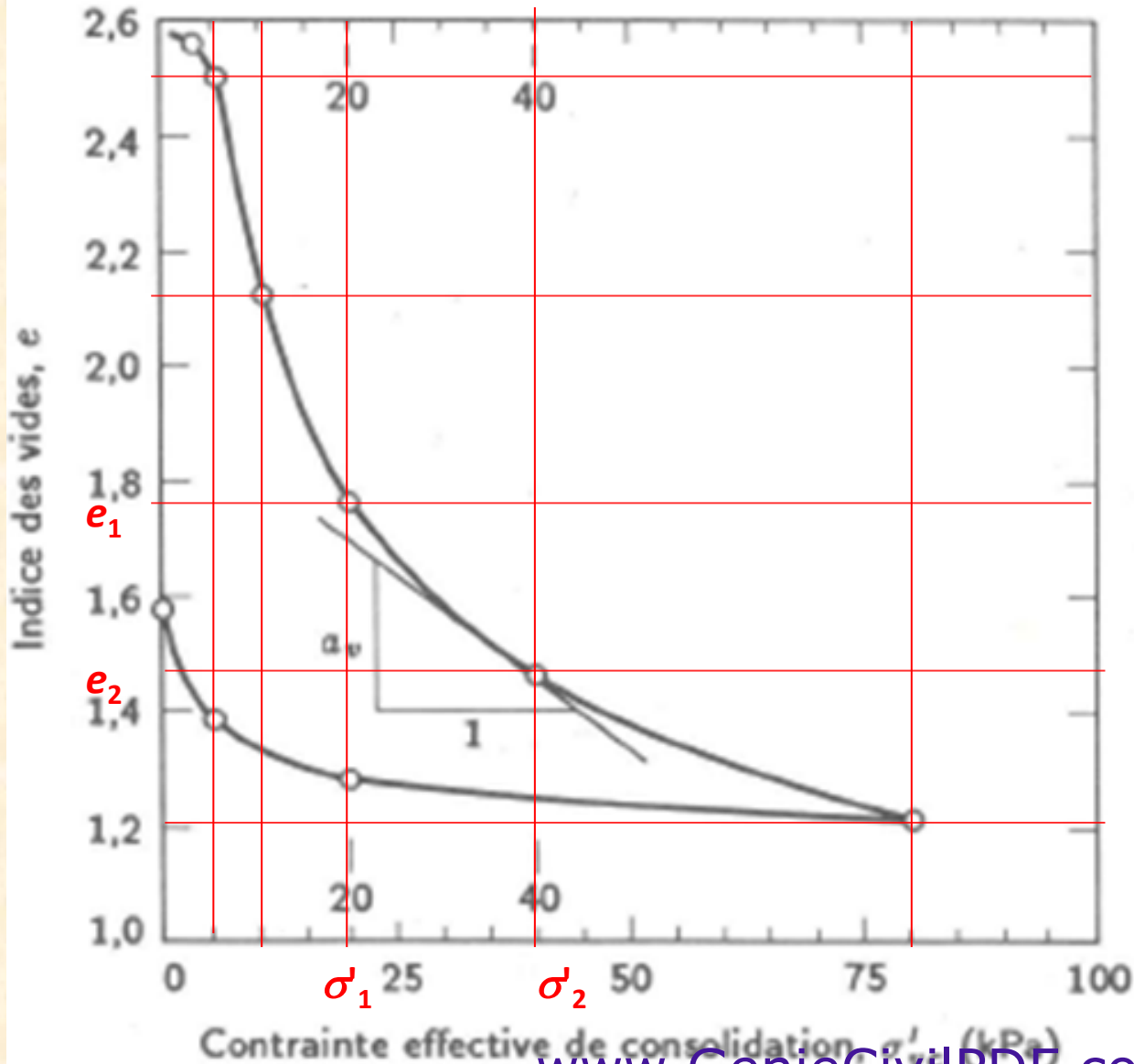
$$\Delta\sigma_z = (60 - 58.3) + (62.5 - 59.8) + (51.3 - 51) = 4.7 \text{ kPa}$$

Les contraintes verticale totale et effective due à la fondation après le drainage deviennent :

$$\sigma_z = \gamma_{tot} \cdot z + \Delta\sigma_z = 20 \times 10 + 4.7 = 204.7 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_z = \sigma_z - \gamma_w \cdot z = 204.7 - 10 \times 10 = 104.7 \text{ kPa}$$

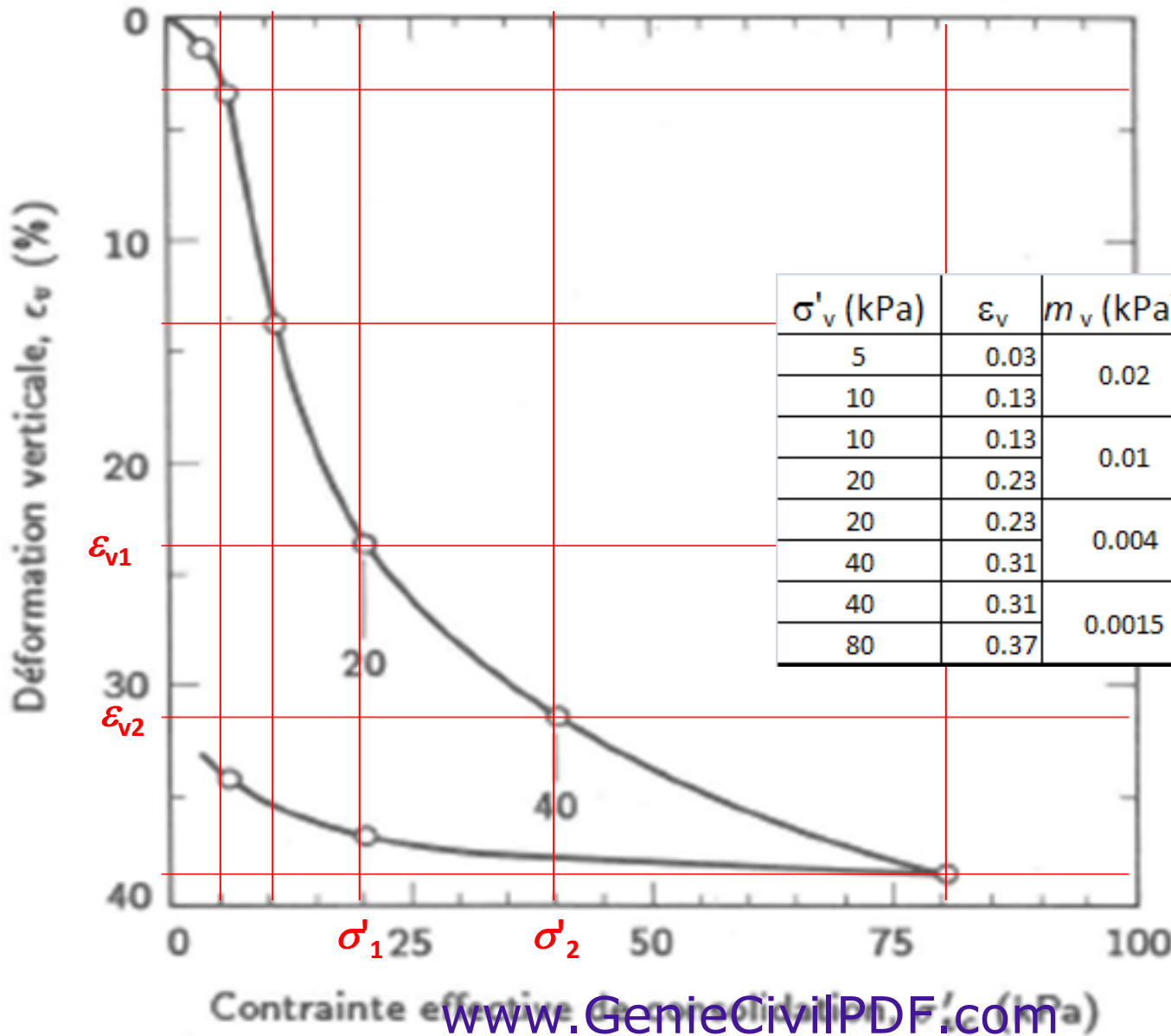
## Coefficient de compressibilité, $a_v$



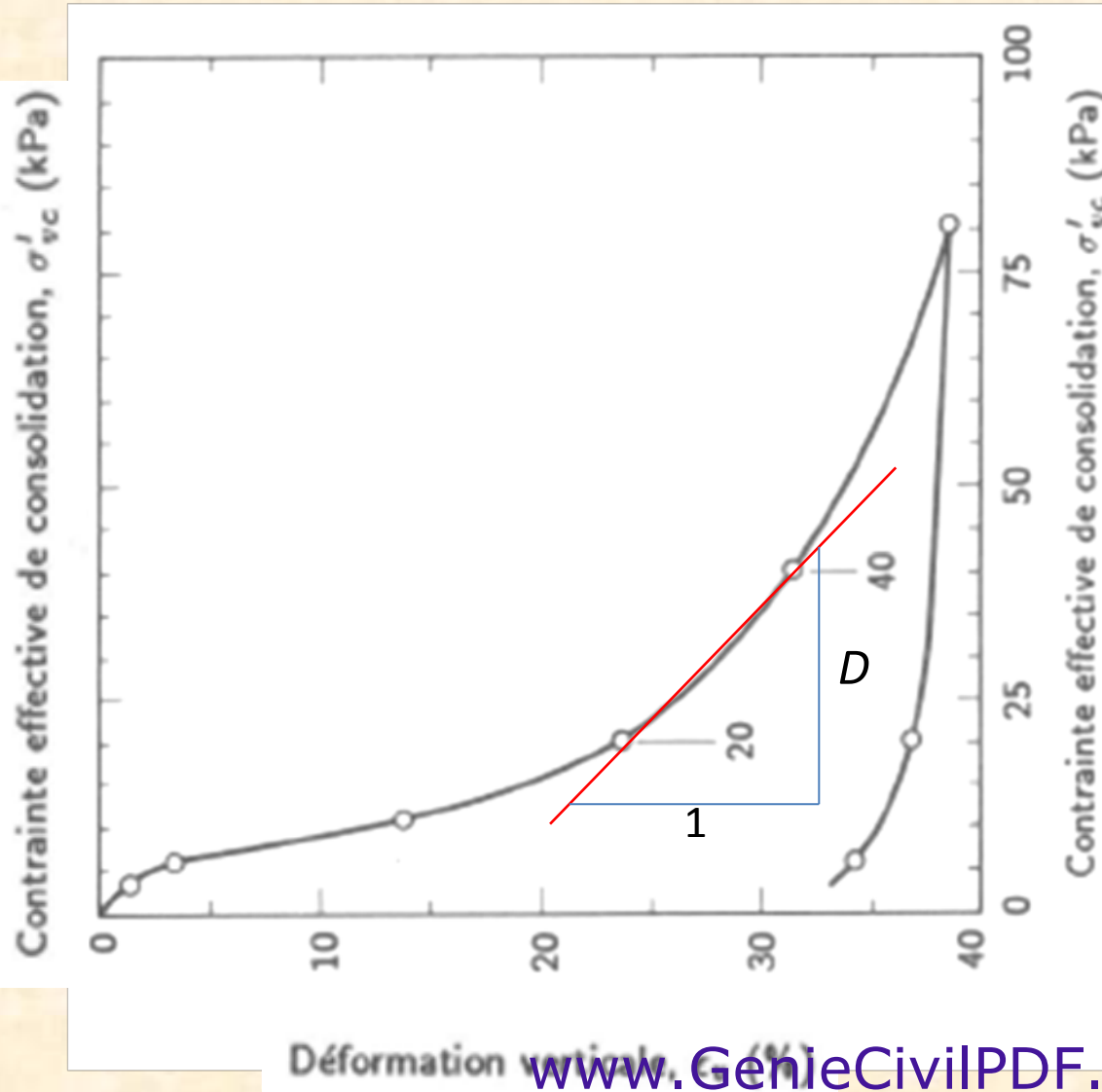
$\sigma'_v$ (kPa)	$e$	$a_v$ (kPa <sup>-1</sup> )
5	2.5	0.076
10	2.12	
10	2.12	0.037
20	1.75	
20	1.75	0.0145
40	1.46	
40	1.46	0.0065
80	1.2	

## Coefficient de changement de volume, $m_v$

$$m_v = \frac{-a_v}{1 + e_0}$$



## Module œdométrique, $D$ ou $E_{oed}$

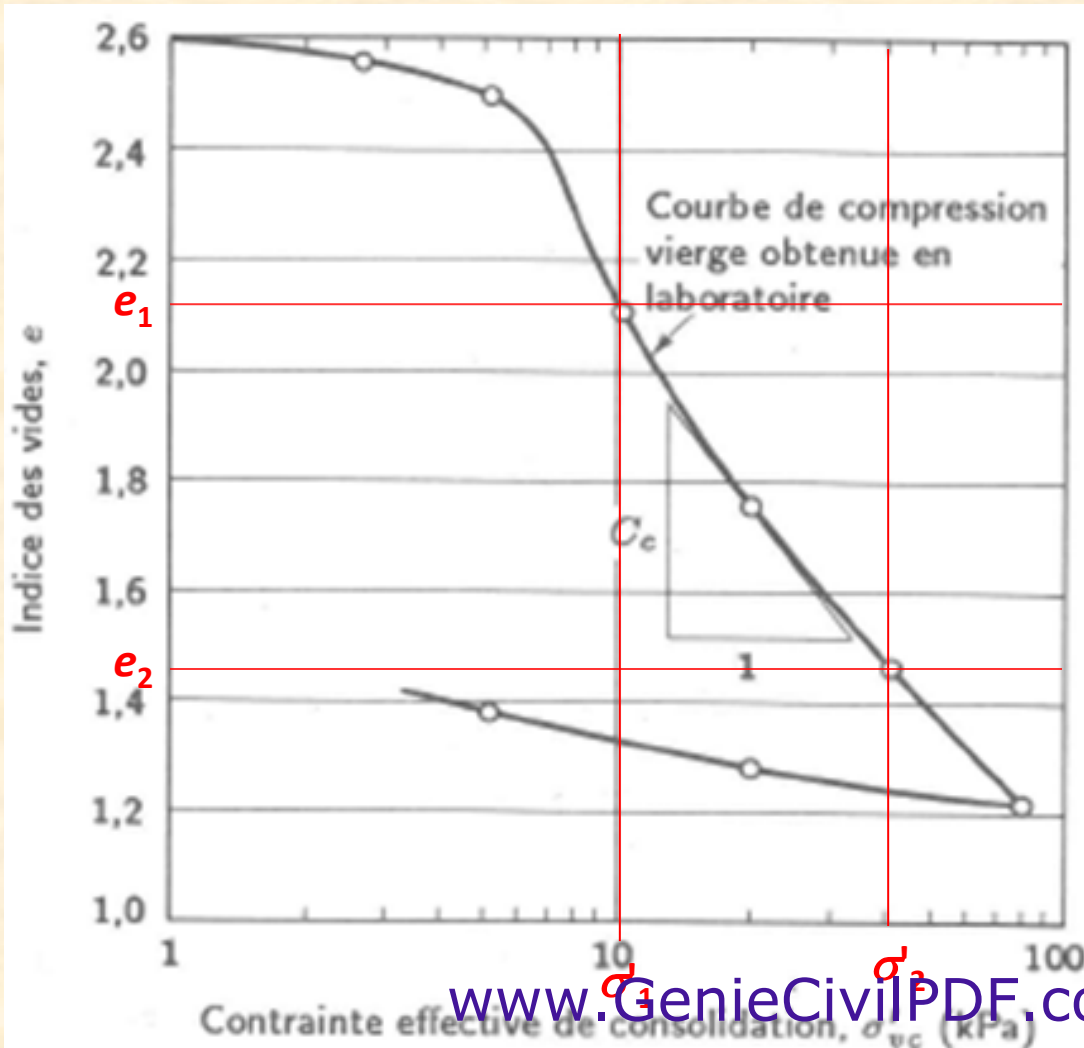


$$D = E_{oed} = \frac{d\sigma'_v}{d\varepsilon_v} = \frac{1}{m_v}$$

$\sigma'_v$ (kPa)	$\varepsilon_v$	D ou $E_{oed}$ (kPa)
5	0.03	50
10	0.13	
10	0.13	100
20	0.23	
20	0.23	250
40	0.31	
40	0.31	667
80	0.37	

## Indice de compression, $C_c$

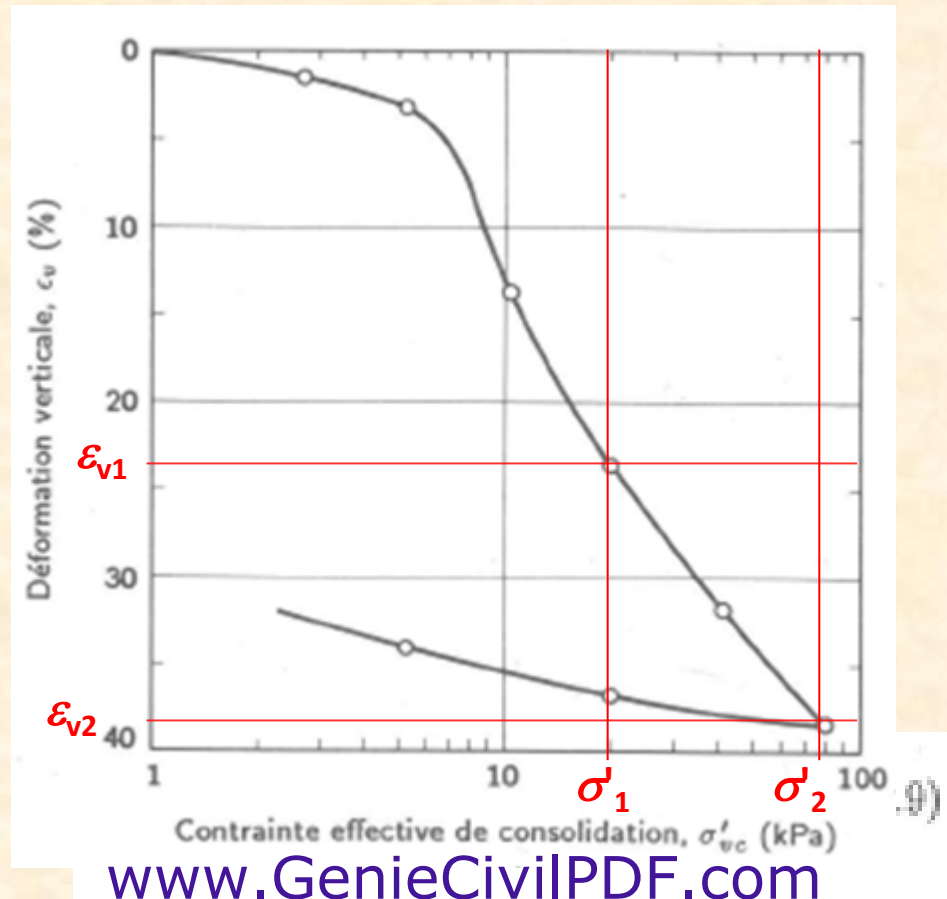
C'est la pente de la courbe de compression vierge obtenue en laboratoire:





## Indice de compression modifié, $C_{c\varepsilon}$

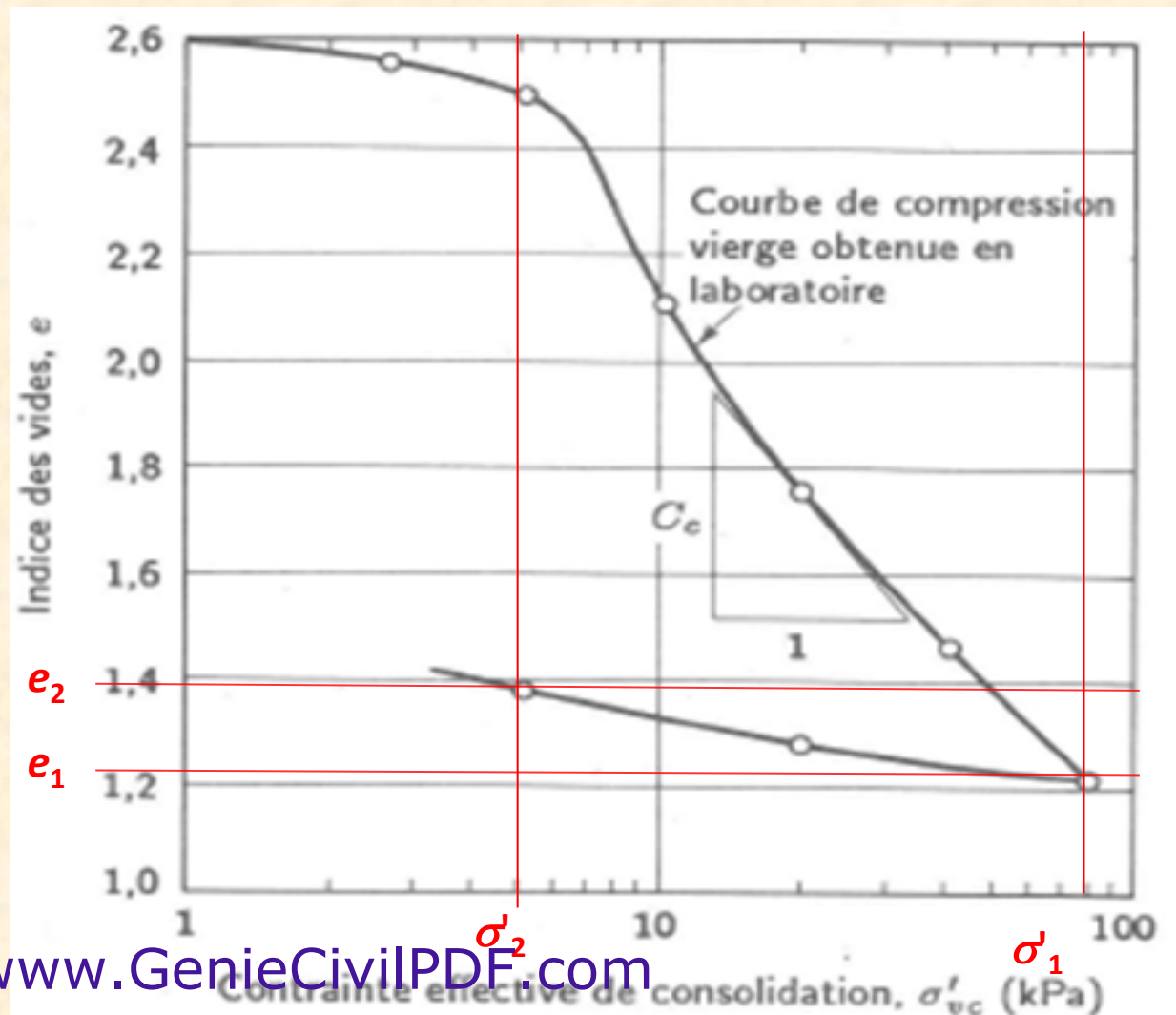
$$C_{c\varepsilon} = \frac{d\varepsilon_v}{d \log \sigma'_v} = \frac{\varepsilon_{v2} - \varepsilon_{v1}}{\log \frac{\sigma'_{v2}}{\sigma'_{v1}}}$$



## Indice de recompression, $C_r$

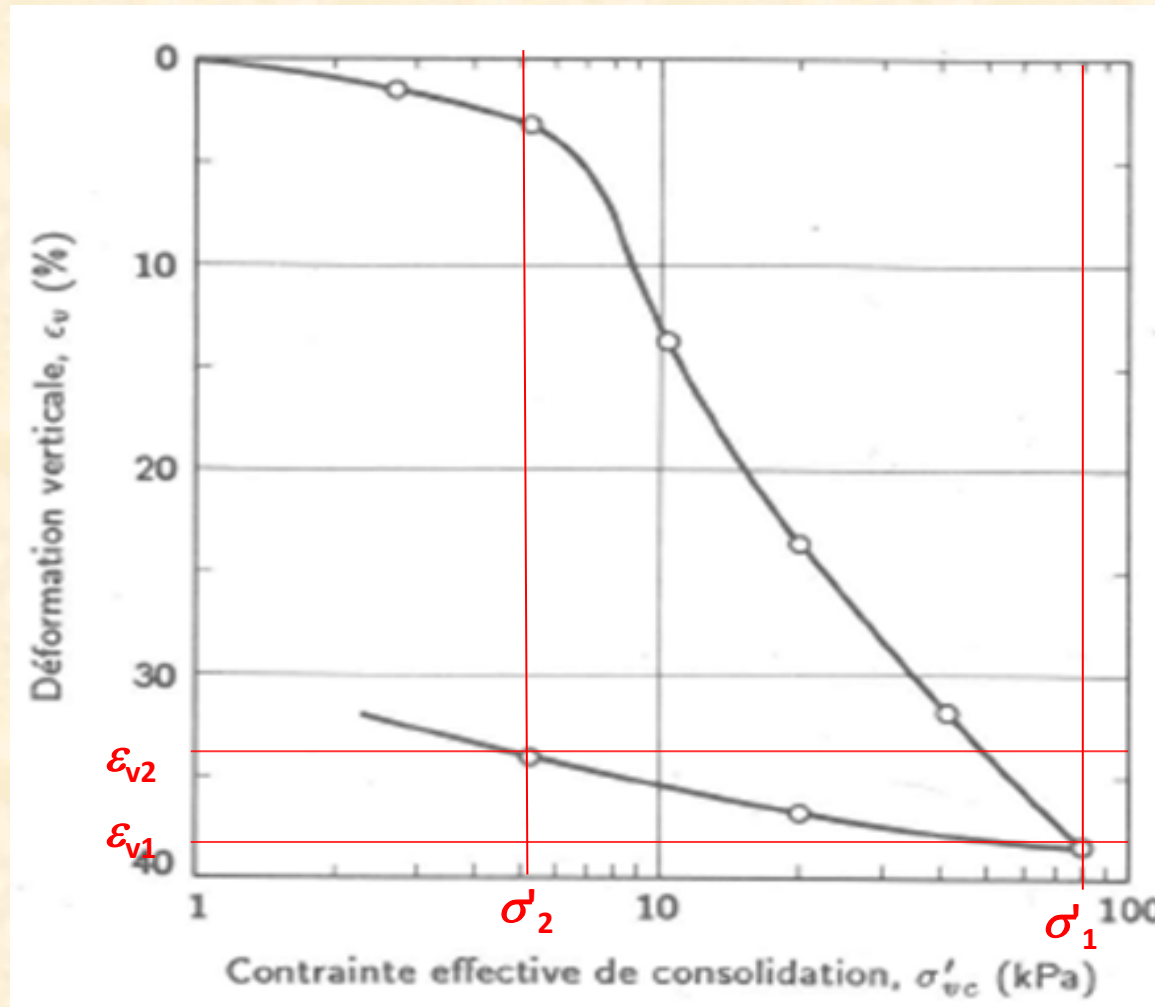
C'est la pente de la courbe de recompression (rebondissement):

$$C_r = - \frac{de}{d \log \sigma'_v}$$



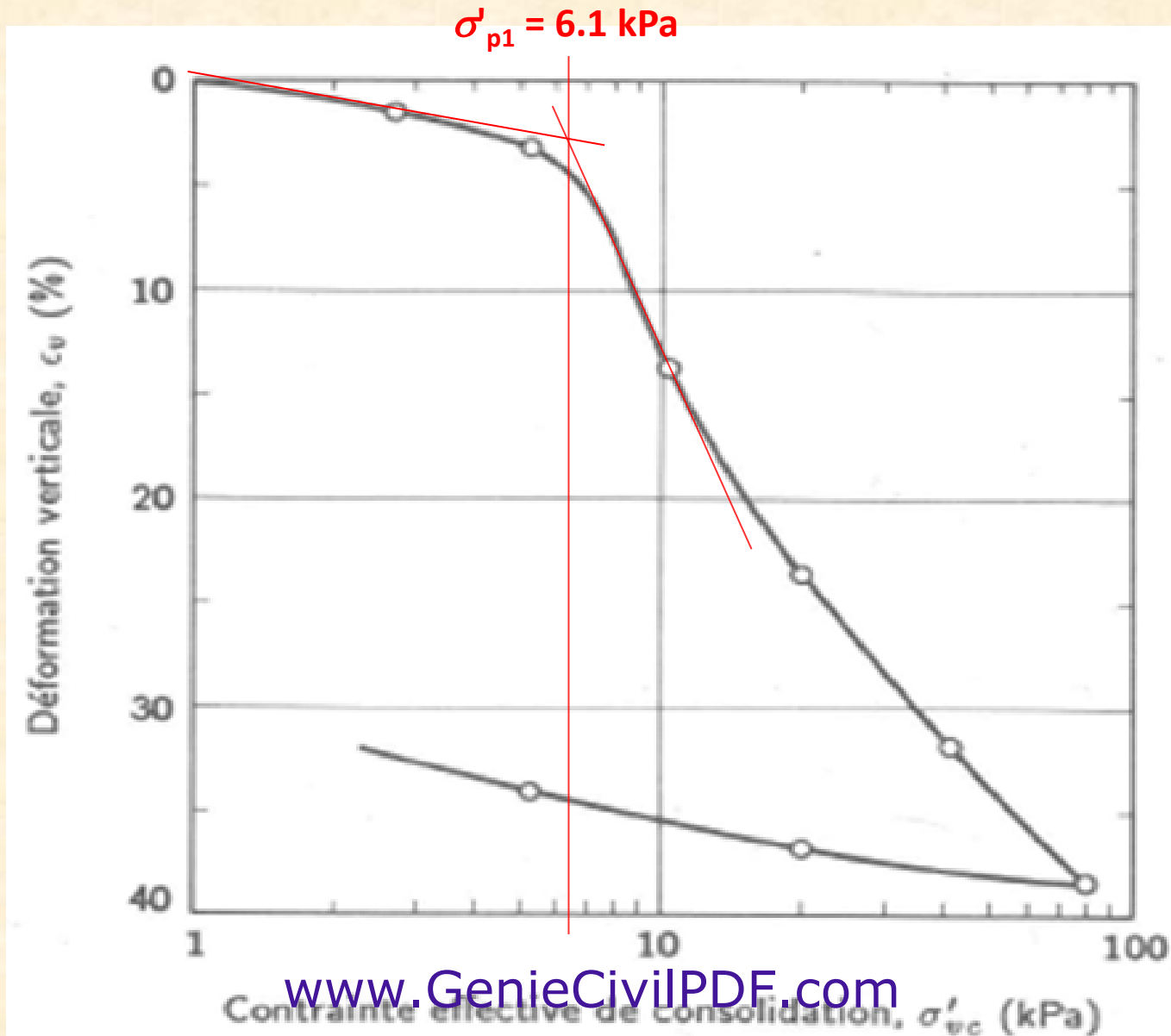
## Indice de recompression modifié, $C_{r\varepsilon}$

$$C_{r\varepsilon} = \frac{d\varepsilon_v}{d \log \sigma'_v}$$





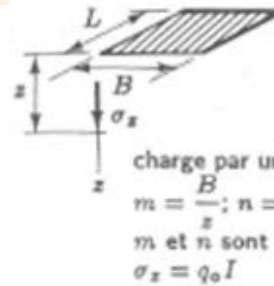
# Pression de préconsolidation, $\sigma'_p$



# Contrainte sous le coin d'une surface rectangulaire chargée uniformément

## Solution de Newmark

$$\sigma_z = q_0 \frac{1}{4\pi} \left[ \frac{2mn(m^2 + n^2 + 1)^{1/2}}{m^2 + n^2 + 1 + m^2n^2} \times \frac{(m^2 + n^2 + 2)}{(m^2 + n^2 + 1)} + \arctan \frac{2mn(m^2 + n^2 + 1)^{1/2}}{m^2 + n^2 + 1 - m^2n^2} \right]$$



charge par unité d'aire  $q_0$   
 $m = \frac{B}{z}$ ;  $n = \frac{L}{z}$   
 $m$  et  $n$  sont interchangeables  
 $\sigma_z = q_0 I$

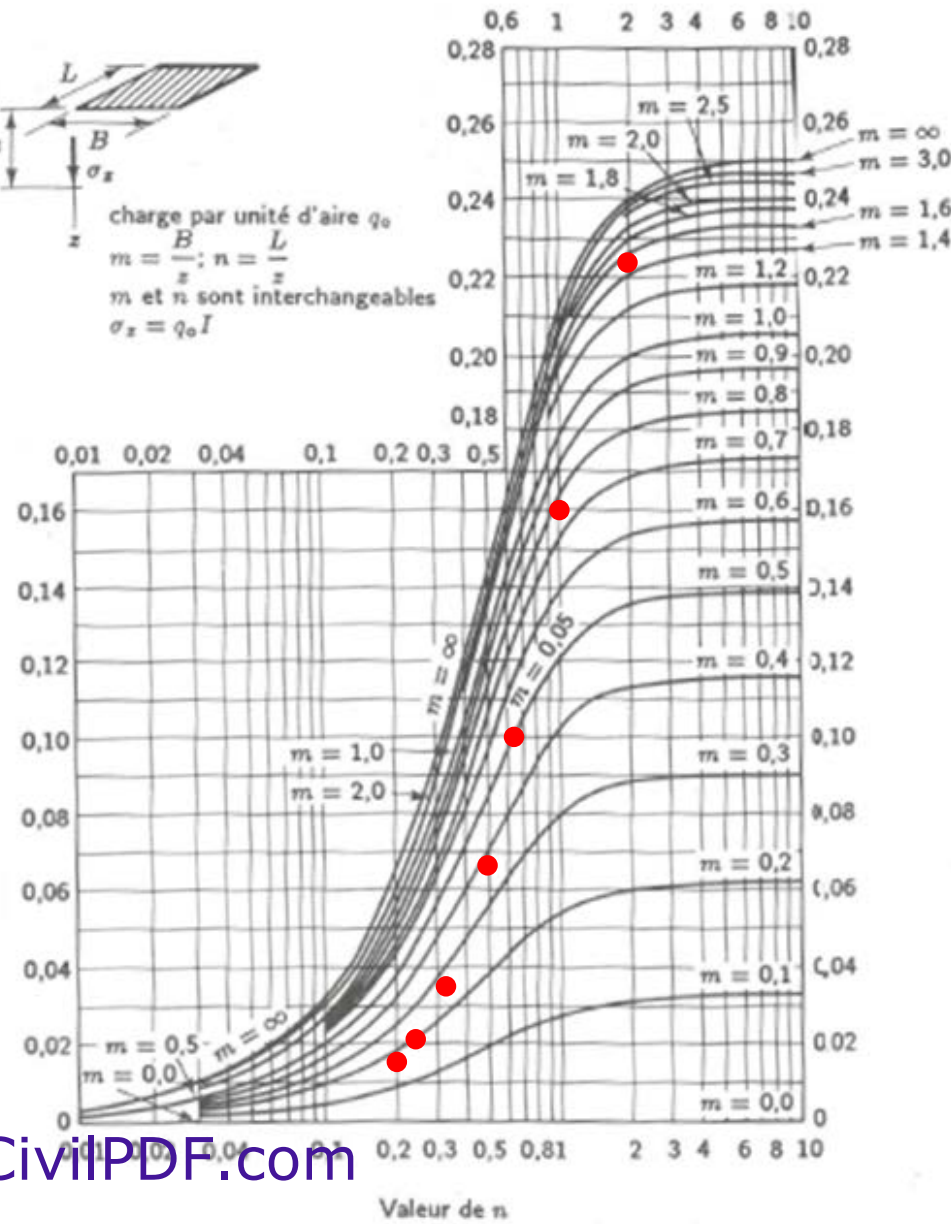
(8.28)  
(8.29)

où  $q_0$  = contrainte superficielle  
 $m = B/z$   
 $n = L/z$   
 $B, L$  = longueur et largeur de la surface uniformément chargée

$$\sigma_z = q_0 I \quad (8.30)$$

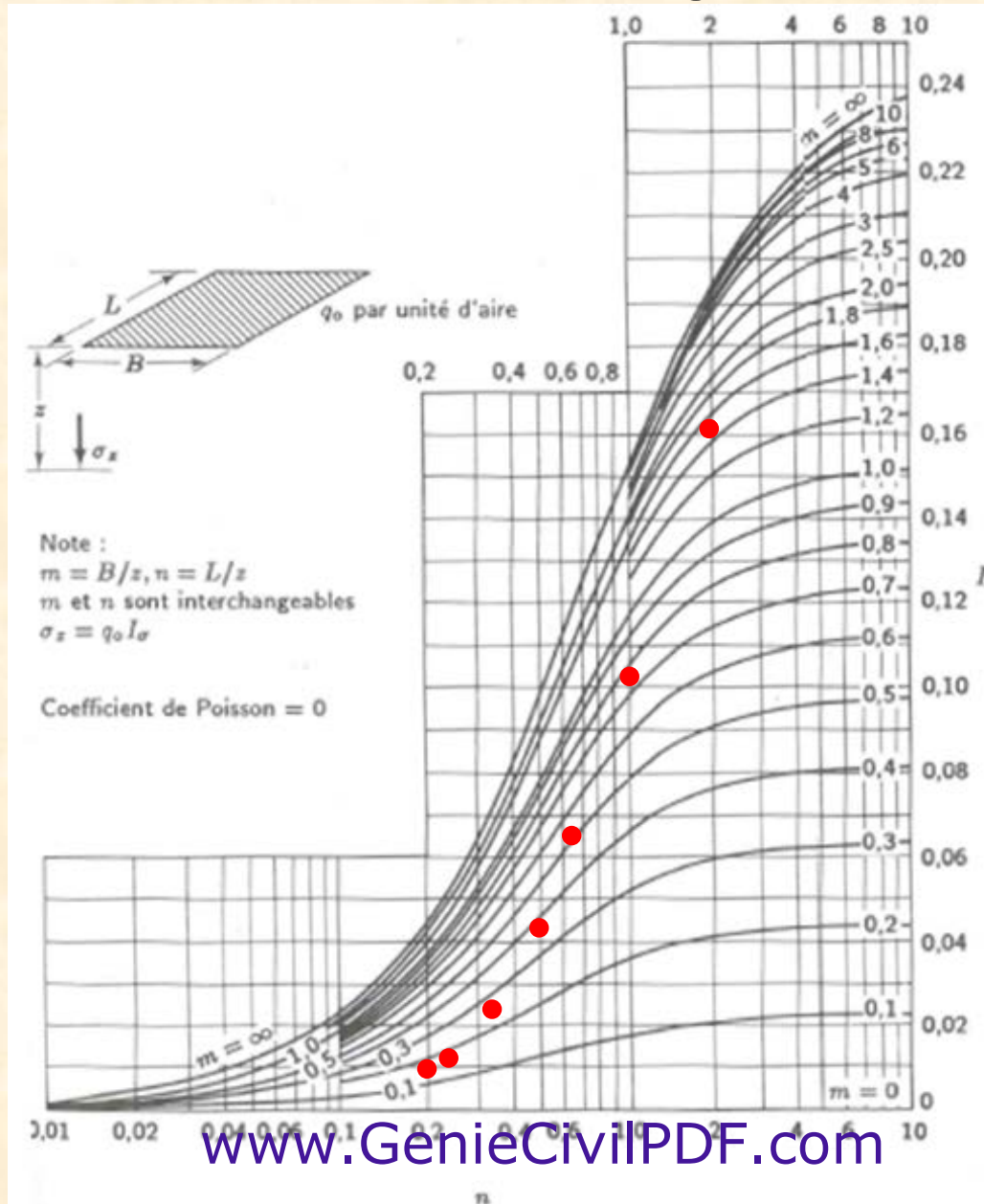
où  $I$  = facteur d'influence

facteur d'influence,  $I$



# Sous le coin d'une surface rectangulaire chargée uniformément

## Solution de Westergaard



# Contrainte sous un remblai de grande longueur

