Mécanique des sols I

- Chapitre I
  Propriétés physiques des sols et compactage des sols
- Chapitre II
  Contraintes dans les sols et pression interstitielle
- **Chapitre III**
  Hydraulique des sols
- **Chapitre IV**
  Tassement et Consolidation des sols
- **Chapitre V**
  Résistance au Cisaillement des Sols

Chapitre III
Déformations des sols

1. **Compressibilité des sols**
2. **Calcul du tassement – méthode des couches**
3. **Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich**
4. **Durée des tassements**
5. **Dispositions constructives – tassements admissibles**

Qu'est-ce qu'un tassement?

Chargement d'un sol
Surplus de contrainte
Déformation verticale tassements



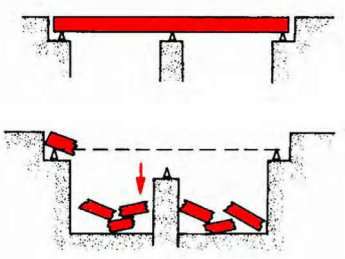
Conséquences des tassements sur les structures

Types de tassements

uniformes

- *affectent peu la structure*
- *problèmes de raccordement*

remblai – ouvrage d'art
canalisation – bâtiment



différentiels

-*peuvent entraîner des désordres importants*
- *structure hyperstatique* tassement entre 2 appuis

Ordre de grandeur des tassements admissibles

Recommandations du 4ème congrès international de Mécanique des Sols (Londres 1956)

Type de mouvement	Le tassement doit être limité pour assurer :	Tassement maximal
Tassement total	le drainage	15 à 30 cm
	la facilité d'accès	30 à 60 cm
	une certaine uniformité du tassement	
	- murs en maçonnerie	2 à 5 cm
	- poutraison	5 à 10 cm
	- silos, cheminées, radiers	8 à 30 cm
Tassements différentiels	stabilité au renversement des cheminées et tours	0,004 B
	circulation d'engins	0,01 L
	stabilité des empilages de marchandises	0,01 L
	fonctionnement des machines lourdes	0,003 L à 0,0002 L
	(avec possibilité de réglage ultérieur)	
	fonctionnement des grues sur rail	0,003 L
	écoulement de l'eau dans les canalisations	0,01 L à 0,02 L
	(attention de ne pas modifier les conditions de l'écoulement)	
	la sécurité à l'égard de la fissuration	
	- grands murs de briques	0,0005 à 0,001L
	- poutres en B.A.	0,0025 à 0,004 L
	- voiles en B.A.	0,003 L
	- poutres continues en acier	0,002 L
	- poutres sur appuis simples en acier	0,005 L

Exemple d'une poutre de 10 mètres

tassement total : 5 à 10 cm
tassement différentiel : 0.0025 à 0.004 L 2.5 à 4 cm

A quoi sont dus les tassements?

Phénomène de compressibilité des sols

→ *diminution de volume*

La compressibilité résulte de :

- la déformation des grains de sol — *négligeable*
- la compression de l'air et de l'eau contenus dans les vides
  - → *négligeable*
  - → *instantannée*

  S_i
- l'expulsion de l'eau contenue dans les vides

  eau chassée des vides: tassement *consolidation primaire* S_p

  Remarque : importance du temps et de la perméabilité des sols
- la compression du squelette solide

  réarrangement des particules *consolidation secondaire* S_s

Composantes du tassement

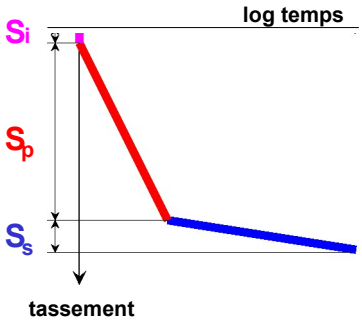
Tassement total (S_t)

$S_t = S_i + S_p + S_s$

tassement immédiat

tassement de consolidation primaire

tassement de consolidation secondaire



-Si: peu important souvent négligeable

-**Sp**: le plus important, dépend fortement du temps à long terme (consolidation) surtout pour les sols fins saturés)

- évalué par la théorie de l'élasticité

  -**S_s**: fluage du squelette solide

  phénomène de réduction progressive du volume en fonction du temps d'une couche de sol saturé sous l'action d'une contrainte constante

Démarche de ce chapitre

Calcul du tassement total

1. Compressibilité des sols → *sans considérer l'évolution du tassement dans le temps*
2. Calcul du tassement – méthode des couches
3. Calcul des contraintes dues aux surcharges

Calcul du temps de consolidation

1. Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich
2. Durée des tassements

fonction de la perméabilité du sol
- sols fins
- sols pulvérulents

3- Compressibilité des sols

3.1 Sols pulvérulents et sols fins

3.2 L'œdomètre

3.3 Courbe de compressibilité

3.4 Caractéristiques de la compressibilité

3.4.1 Pression de pré consolidation
3.4.2 Indice de compression
3.4.3 Indice de gonflement
3.4.4 Module œdométrique

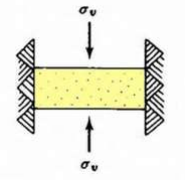
3.5 Classification des sols vis à vis de la compressibilité

3.5.1 Sol normalement consolidé
3.5.2 Sol surconsolidé
3.5.3 Sol sous-consolidé

3.1 Sols pulvérulents et sols fins

Sol grenu soumis à une compression unidimensionnelle

(sable en compression)



-déformation → indice des vides $\quad e = f(\sigma)$

$$I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

Faible : sol lâche donc *compressible*

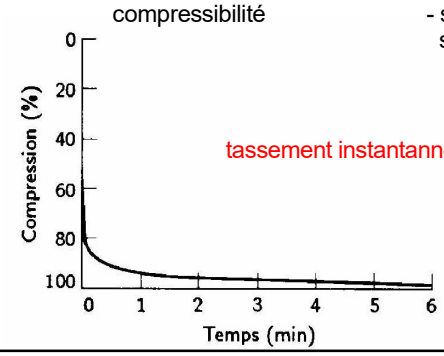
élevé : sol serré →*donc très peu compressible*

- compression en fonction du temps *atteinte rapidement*

évacuation rapide de l'eau

compressibilité

- seulement due à la compression du squelette solide



tassement instantanné →
- au moment de l'application des charges
- souvent pendant la construction
- identique sur sol sec, humide ou saturé

3.1 Sols pulvérulents et sols fins

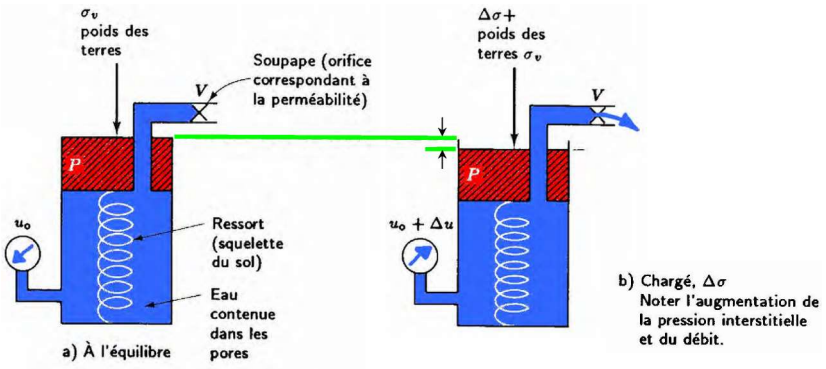
Tassement des sols fins

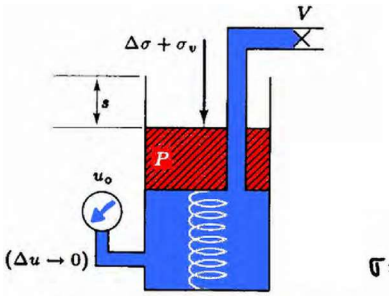
→ différent pcq l'eau s'évacue moins vite

- *application d'une surcharge : transmission à l'eau*
- *évacuation de l'eau : transmission au grains solides*



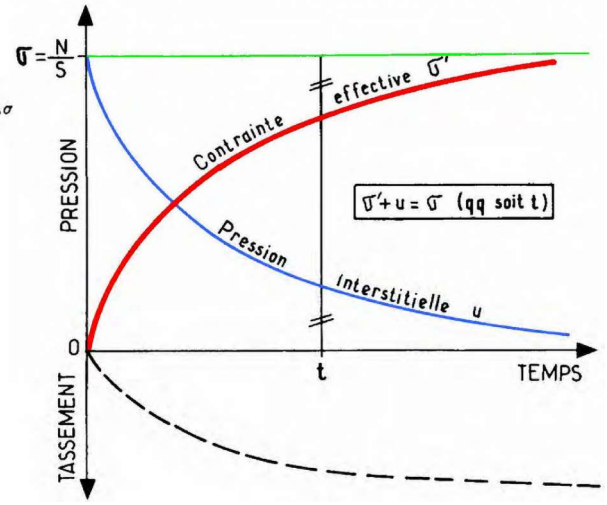
Approche phénoménologique : analogie du ressort





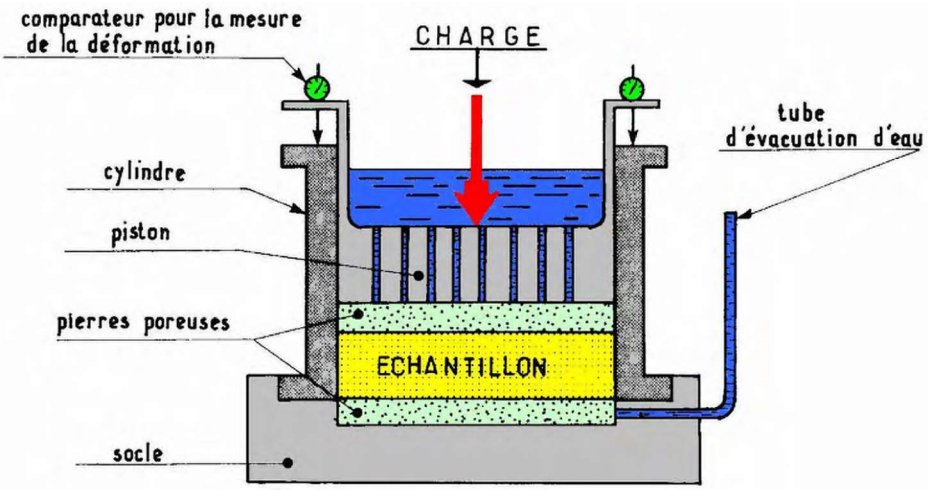
c) À l'équilibre sous les charges $\sigma_v + \Delta\sigma$
Noter le tassement s.

➡ consolidation primaire



3.2 L'œdomètre *(étude expérimentale de la compressibilité des sols)*

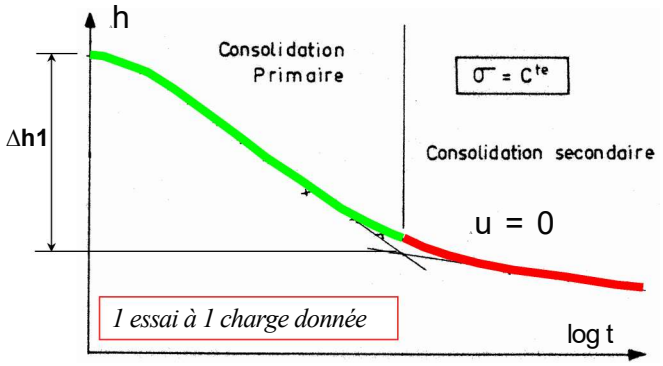
Description de l'appareillage





Procédure d'essai

- application d'une contrainte verticale uniforme sur l'échantillon
- mesure du tassement correspondant au cours du temps



Temps	Pression interstitielle	Contrainte effective	Contrainte totale	Tassement
t = 0	**u = σ**	**σ'= 0**	**σ**	**0**
fin de l'essai 1	**u = 0**	**σ'= σ**	**σ**	**Δh_1**

L'essai œdométrique fournit deux types de courbes

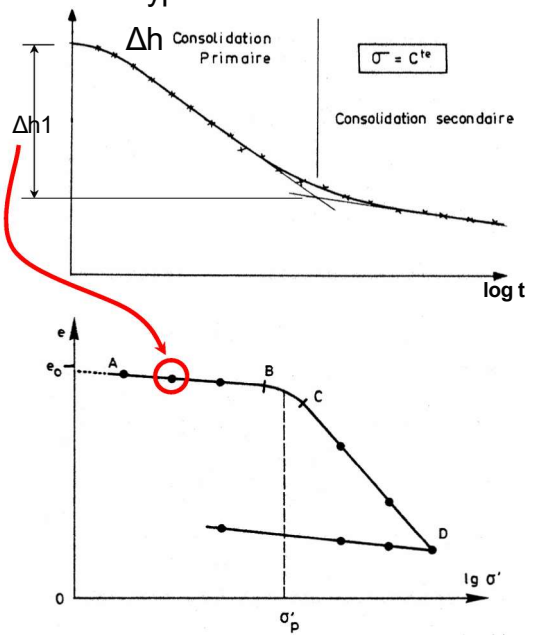
- courbe de consolidation

tassement de l'échantillon en fonction du temps pour une contrainte constante

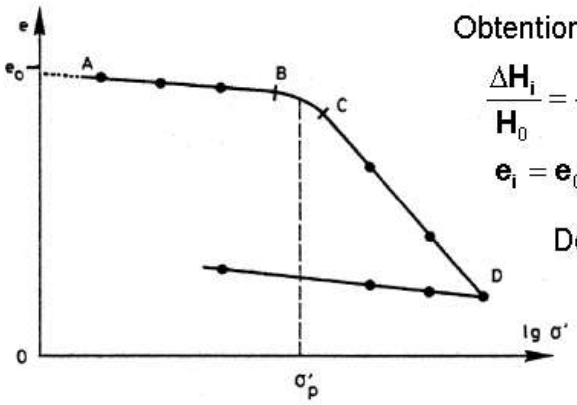
essai répété pour plusieurs contraintes croissantes sur le même échantillon

- courbe de compressibilité

tassement en fonction de la contrainte appliquée



3.3 Courbe de compressibilité



Obtention de la courbe

$$\frac{\Delta H_i}{H_0} = \frac{\Delta e_i}{1+e_0}$$

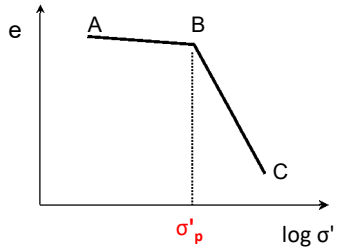
$$e_i = e_0 - \Delta e_i$$

Description de la courbe

$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta V_t}{V_t} = \frac{\Delta V_v}{V_v + V_s} = \frac{\Delta V_v / V_s}{V_v / V_s + V_s / V_s} = \frac{\Delta e}{1+e_0}$$

3.4 Caractéristiques de la compressibilité

3.4.1 Pression de préconsolidation



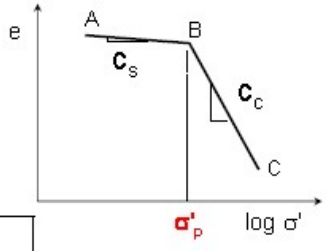
Schématisation de la courbe de compressibilité

- Pression de préconsolidation σ'_p
  - entre A et B
    - *faible tassement*
    - *contraintes auxquelles le sol a déjà été soumis*
    - *à un moment ou à un autre de son histoire géologique, le sol a été soumis à une pression* σ'_p *(exemple : poids des terres)*
  - entre B et C
    - *forte compressibilité*
      le sol ne peut pas supporter plus que σ'_p *sans se déformer de façon importante*
    - *le sol est soumis à des contraintes supérieures à toutes celles qu'il a déjà connues*
    - *courbe vierge de compressibilité*

les sols sont donc des matériaux à mémoire

3.5.2 Indice de compression (c_c)

pente de la courbe vierge de compressibilité



$$c_c = -\frac{\Delta e}{\Delta(\log\sigma')}$$

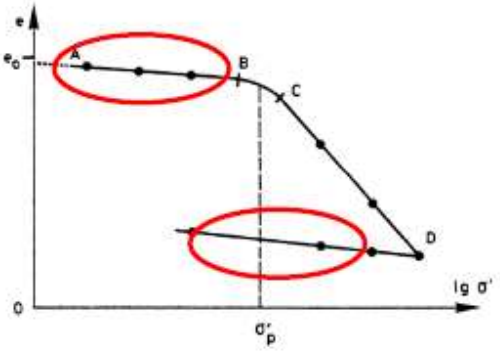
Sables	$0{,}01 < c_c < 0{,}1$
Kaolinites	$0{,}1 < c_c < 0{,}25$
Illites	$0{,}25 < c_c < 0{,}8$
Montmorillonites	$0{,}8 < c_c < 2{,}5$

incompressible	lorsque	$c_c < 0{,}02$	Sables
très peu compressible	"	$0{,}02 < c_c < 0{,}05$	
peu compressible	"	$0{,}05 < c_c < 0{,}10$	
moyennement compressible	"	$0{,}10 < c_c < 0{,}20$	Kaolinites
assez fortement compressible	"	$0{,}20 < c_c < 0{,}30$	Illites
très compressible	"	$0{,}30 < c_c < 0{,}50$	
extrêmement compressible	"	$0{,}50 < c_c$	Montmorillonites

relation empirique $c_c = 0.009 \cdot (w_L - 10)$

3.4.3 Indice de gonflement (C_s)

pente d'un cycle de déchargement-rechargement



3.4.4 Module œdométrique

relie les déformations aux contraintes

$$\Delta\sigma' = -\mathbf{E_{oed}} \cdot \frac{\Delta H}{H}$$

$$\mathbf{E_{oed}} = \frac{\frac{\Delta\sigma'}{\Delta H}}{H} = \frac{\Delta\sigma'(1+\mathbf{e_0})}{\Delta \mathbf{e}} = \frac{1+\mathbf{e}}{\mathbf{c_c}} \cdot \frac{\Delta\sigma'}{\log\left(1+\frac{\Delta\sigma'}{\sigma'}\right)}$$

➡ - non constant
- dépend de l'état de contrainte initiale considérée σ'
et de l'intervalle de contrainte Δσ'

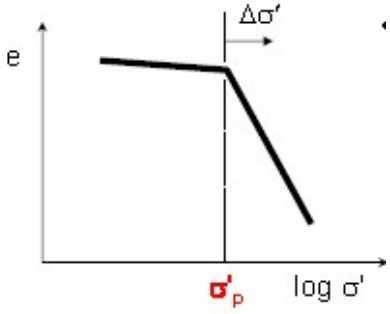
3.5 Classification des sols selon la compressibilité

Prélèvement d'un échantillon de sol à une profondeur donnée

- contrainte effective à laquelle était soumis le sol : σ'_{v0}
- essai œdométrique : $\boldsymbol{\sigma'_p}$

3.5.1 Sol normalement consolidé

Si $\sigma'_p \approx \sigma'_v$ ➡ *le sol est normalement consolidé (NC)*

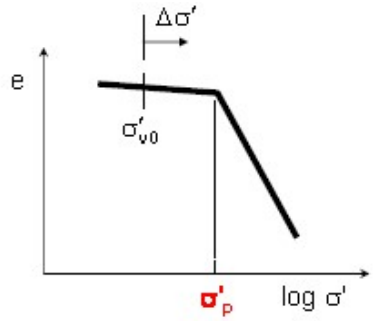


- application d'une surcharge au sol
→ tassement suivant courbe vierge

- dans le passé
→ ce sol a tassé uniquement sous son propre poids

3.5.2 Sol surconsolidé

Si $\sigma'_{v0} < \sigma'_p$ ➡ *le sol est surconsolidé (SC)*



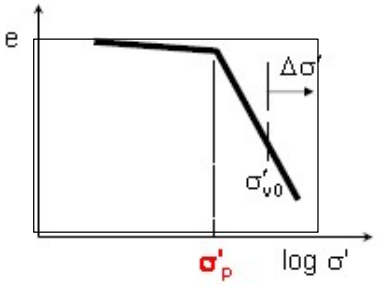
à un moment antérieur de son histoire
→ ce sol a été soumis à une contrainte supérieure au poids des terres actuel

Ex : érosion, excavation, changement de niveau de la nappe phréatique

3.5.3 Sol Normalement consolidé

- consolidation primaire pas terminée
  le sol n'a pas encore été soumis à une contrainte aussi élevée que σ'_{v0} (poids des terres actuel)

Ex : remblai récent, mal compacté



Bilan - Intérêt de la classification

- fondations sur sol surconsolidé

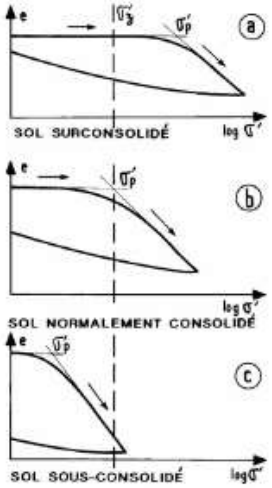
$\sigma'_{v0} + \Delta\sigma' < \sigma'_p$ ➡ *faibles tassements, voire négligeables*

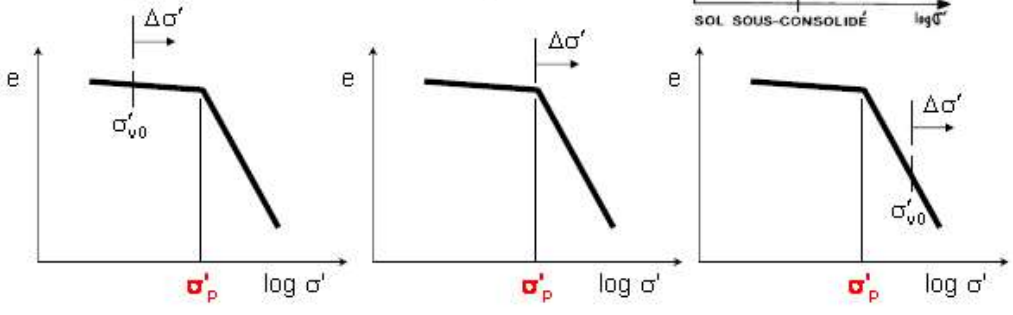
- fondations sur sol normalement consolidé

➡ *toute surcharge entraîne un tassement, dépendant de c_c*

- sol sous-consolidé

➡ *inconstructibles sans traitement particulier déformations même sans surcharge*





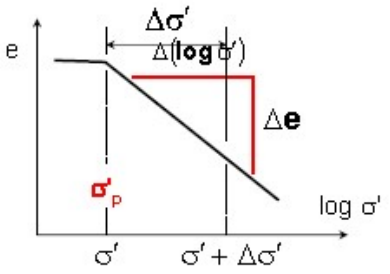
4- Calcul du tassement méthode des couches

Sol normalement consolidé

$$c_c = -\frac{\Delta e}{\Delta(\log \sigma')}$$

$$\log(\sigma' + \Delta\sigma') - \log\sigma'$$

$$log\left(1 + \frac{\Delta\sigma'}{\sigma'}\right)$$

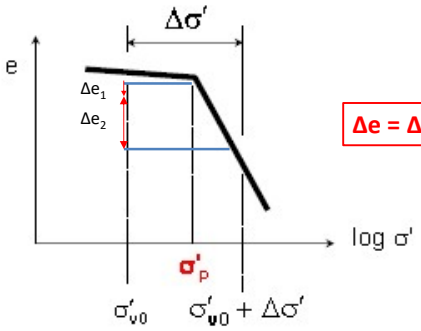


$$\Delta e = -c_c \cdot \log\left(1 + \frac{\Delta\sigma'}{\sigma'_{v0}}\right)$$

$$et \quad \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

$$\Delta H = -H_0 \cdot \frac{c_c}{1 + e_0} \cdot \log\left(1 + \frac{\Delta\sigma'}{\sigma'_{v0}}\right)$$

Sol surconsolidé $\sigma'_{v0} < \sigma'_p$



$\Delta e = \Delta e_1 + \Delta e_2$

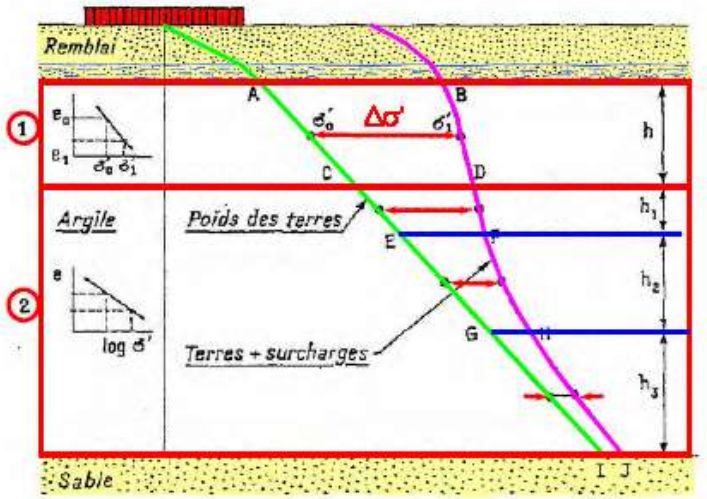
$$\log\sigma'_p - \log\sigma'_{v0} \qquad \log(\sigma'_{v0} + \Delta\sigma') - \log\sigma'_p$$

$$\Delta H = s = \frac{H0}{(1 + e0)}\left[Csi\ log\frac{\sigma' p}{\sigma' v0} + Cci\ log\frac{\sigma' v0 + \Delta\sigma}{\sigma' p}\right]$$

Méthode des couches

- sol découpé en n couches de hauteur H_i
- calcul du tassement de chacune des couches
  - *1 essai oedométrique par couche*
  - *c_c et σ'_p par couche*
  - *σ'_{v0} et $\Delta\sigma'$ par couche*

$$s = \sum_{i=1}^{n} \Delta H_i$$



Méthode des Couches Étapes

Étape 1: définir la géométrie du problème et les points dont on calculera le tassement (point P sur la figure)

Étape 2: Calculer l'augmentation de la contrainte verticale aux points choisis, en utilisant l'abaque adéquate:

$$\Delta\sigma_v = I(z)\, q$$

Étape 3: Calculer le tassement de chaque couche au niveau des points choisies:

$$S(\text{couche}) = f(\text{sol}, \Delta\sigma_v)$$

Étape 4: additionner les tassements des couches pour obtenir le tassement en surface:

$$s = \sum_{i=1}^{n} \Delta H_i$$

5- Calcul des contraintes dues aux surcharges

5.1 Contrainte réelle – principe de superposition
5.2 Détermination des surcharges

5.3 Charge concentrée : Q – relation de Boussinesq

5.4 Charge répartie : q
- *5.4.1 Principe de calcul*
- *5.4.2 Charge uniforme circulaire*
- *5.4.3 Charge uniforme rectangulaire*
- *5.4.4 Charge uniforme répartie sur une surface quelconque*
- *5.4.5 Charge trapézoïdale de longueur infinie (demi-remblai)*
- *5.4.6 Charge triangulaire de longueur b (talus)*
- *5.4.7 Distribution simplifiée*

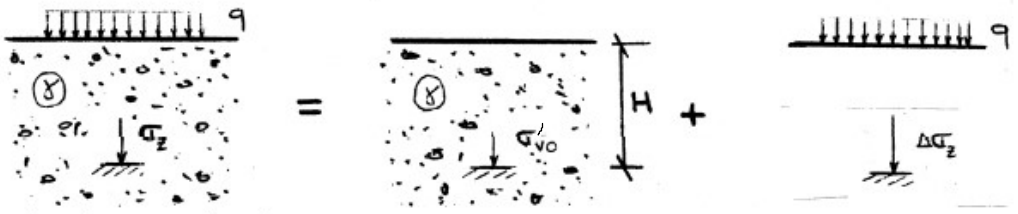
5.1 Contrainte réelle – principe de superposition

Principe de superposition

dans le domaine élastique linéaire, l'effet produit par l'action simultanée de plusieurs forces est égal à la somme de ceux produits par chacune des forces agissant séparément

$$\sigma_z = \sigma'_{v0} + \Delta\sigma_z$$

contrainte à la profondeur z | contrainte due au poids des terres | contraintes dues aux surcharges



sol : milieu semi-infini élastique

5.2 Détermination des surcharges

Cas particulier: surface uniformément chargée

sol soumis à un chargement uniforme q sur une surface importante

$\Delta\sigma_z = q$ *transmission directe des contraintes*

Autres cas $\Delta\sigma z \neq q$ *dissipation des contraintes avec la profondeur*

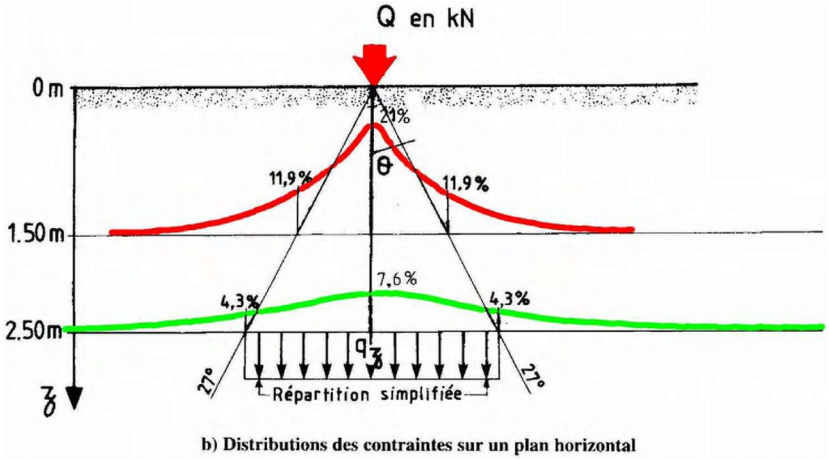
Pour le calcul de $\Delta\sigma z$

- le sol est un milieu semi-infini
- le sol est élastique et non pesant

5.3 Charge concentrée : Q – relation de Boussinesq

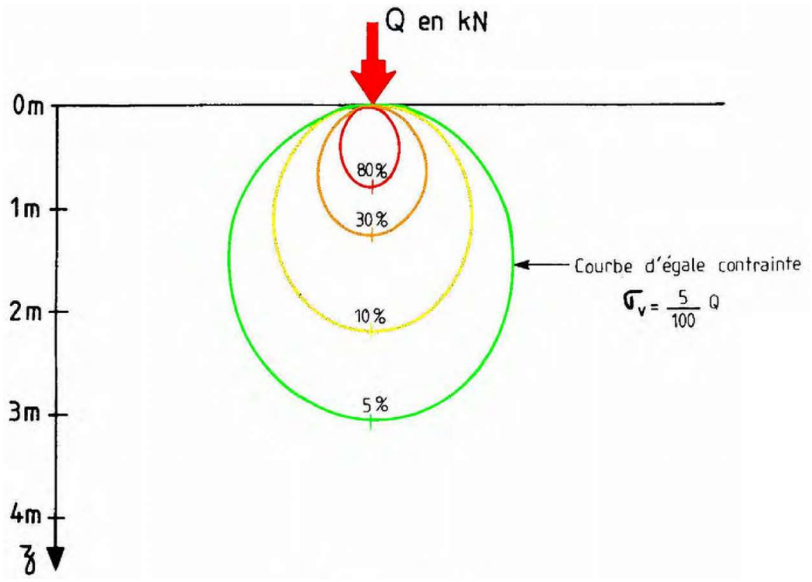
Répartition des contraintes sous une charge ponctuelle

- distribution suivant des plans horizontaux



b) Distributions des contraintes sur un plan horizontal

- bulbe de contraintes



a) Bulbe des contraintes

Calcul de $\Delta\sigma_z$ en fonction de la profondeur z

Formule de Boussinesq (1885)

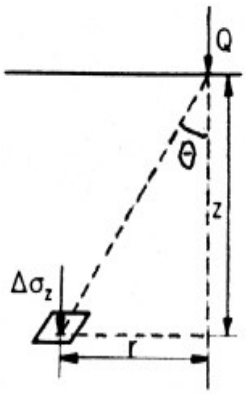
$$\Delta\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{z^3}{\left(r^2 + z^2\right)^{5/2}} = \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{1}{z^2} \cdot \cos^5\theta$$

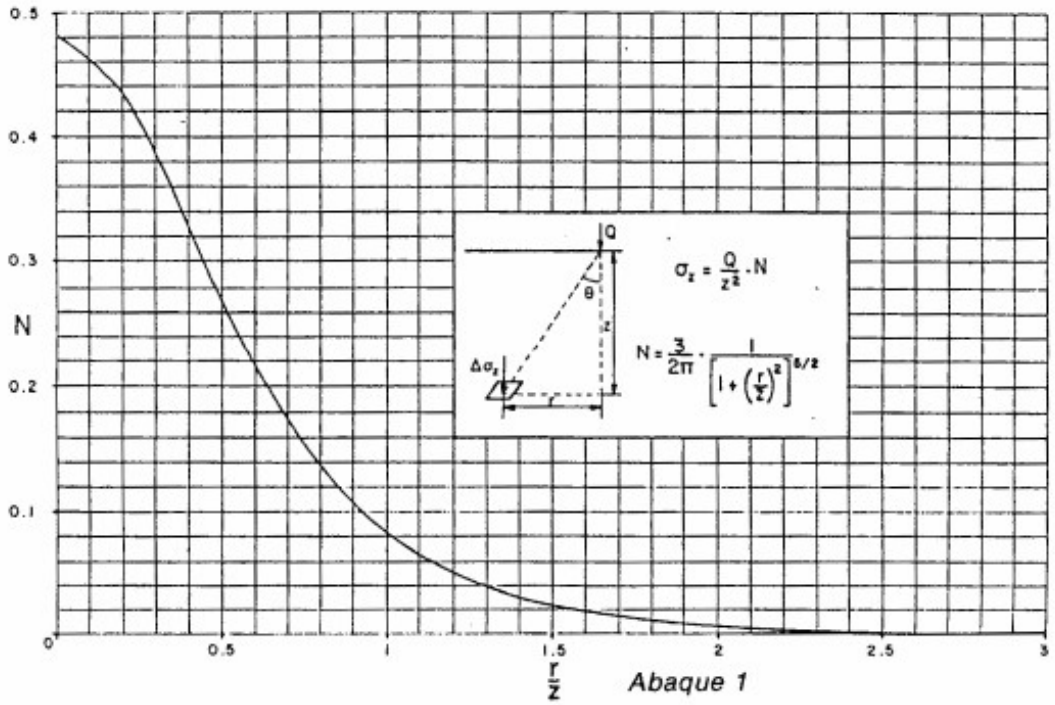
ou

$$\Delta\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{z^2 \cdot r}{\left(r^2 + z^2\right)^{5/2}}$$

ou

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{z^2} \cdot N \qquad \text{avec } N = f(r/z)$$

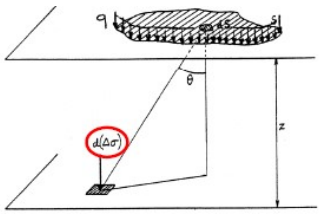




Abaque 1

5.4 Charge répartie: q – relation de Boussinesq

5.4.1 Principe de calcul



Cas usuels de chargement (fondations, remblais…)
- ***formules pour les cas simples***
-***Abaques***

-Principe de calcul

$$\Delta\sigma_z = I \cdot q$$

Avec:

$\Delta\sigma_z$ **:*contrainte sur une facette horizontale***

q *: charge verticale uniformément répartie*

I (z) *: coefficient d'influence (<1), qui dépend de:*
- *z*
- écartement par rapport à la zone chargée (θ)
- forme et dimension de la surcharge

5.4.2 Charge uniforme circulaire

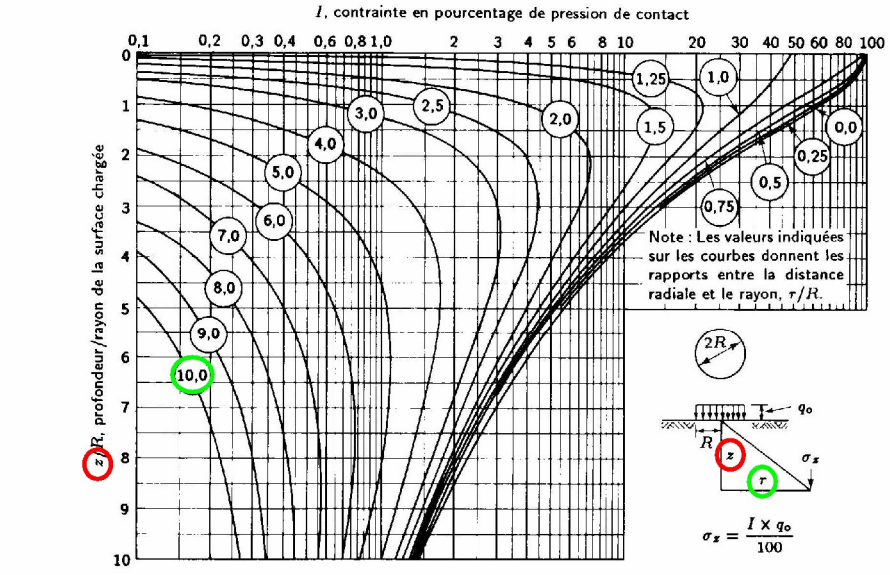
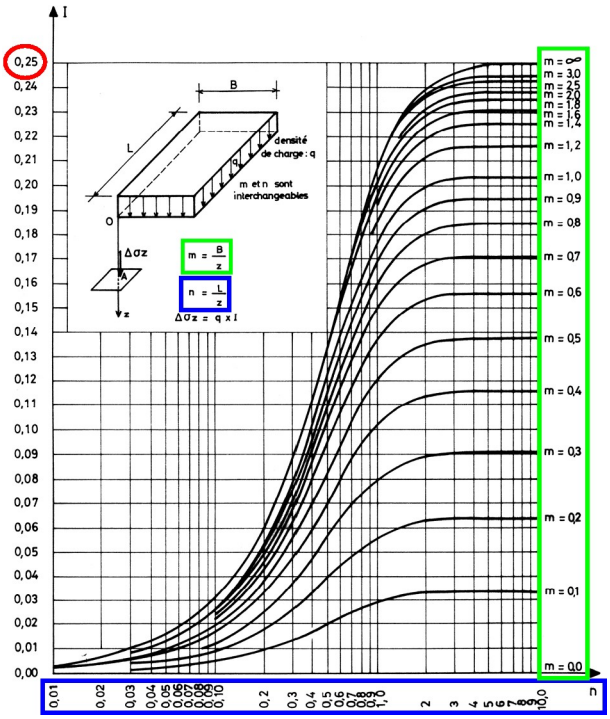


Figure 8.22 Valeur des coefficients d'influence exprimés en pourcentage de la pression de contact q_0 pour une contrainte verticale sous une surface circulaire uniformément chargée. (D'après Foster et Ahlvin, 1954, cités par la *U.S. Navy*, 1971.)

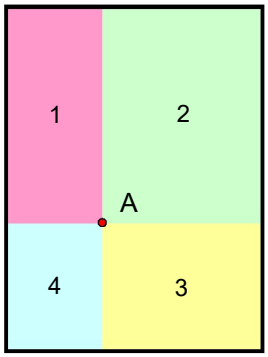
5.4.3 Charge uniforme rectangulaire

Abaque de Steinbrenner

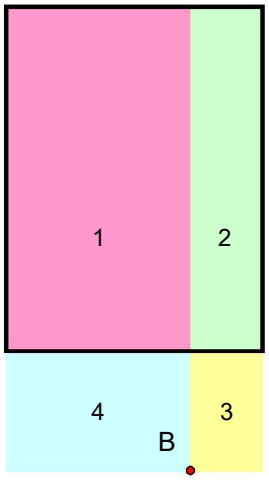
- *calcul sous un angle de l'aire chargée*
- *I en fonction de L/z et B/z*
- *L et B interchangeables*



Exemples



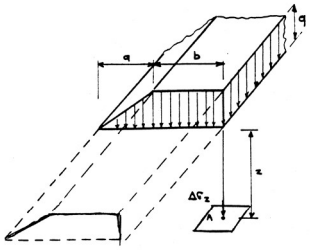
$I_A = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$

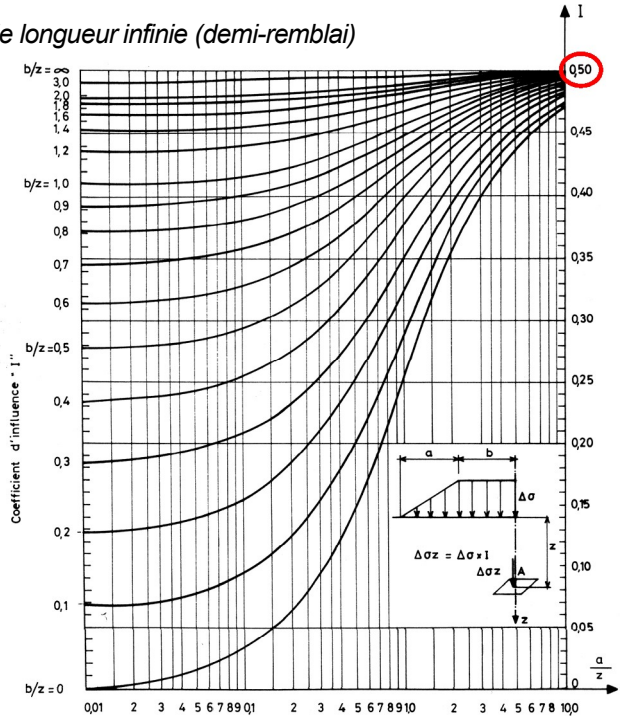


$I_B = I_1 + I_2 - I_3 - I_4$

5.4.4 Charge trapézoïdale de longueur infinie (demi-remblai)

Abaque d'Österberg

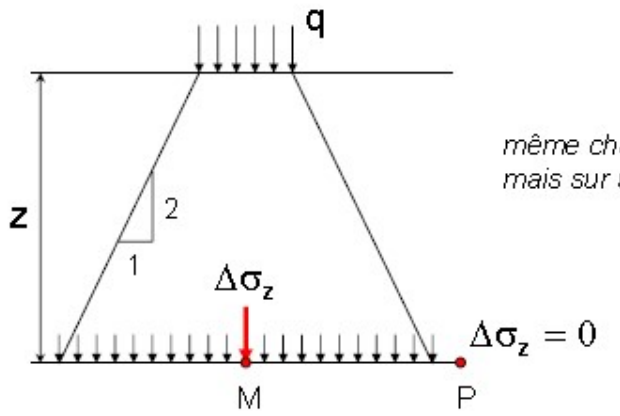




5.4.5 Distribution simplifiée

- méthode la plus simple
- valeur approximative des contraintes

  - *diffusion uniforme des contraintes avec la profondeur*
  - *limitée par des droites faisant une pente 2:1 (vertical:horizontal)*



même charge totale
mais sur une surface plus grande

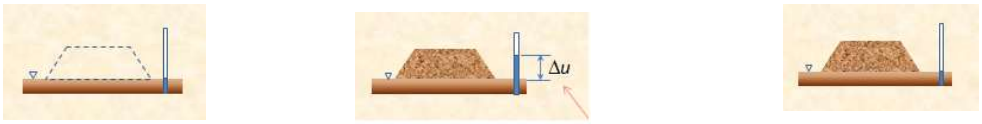
6- Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich

6.1 Hypothèses

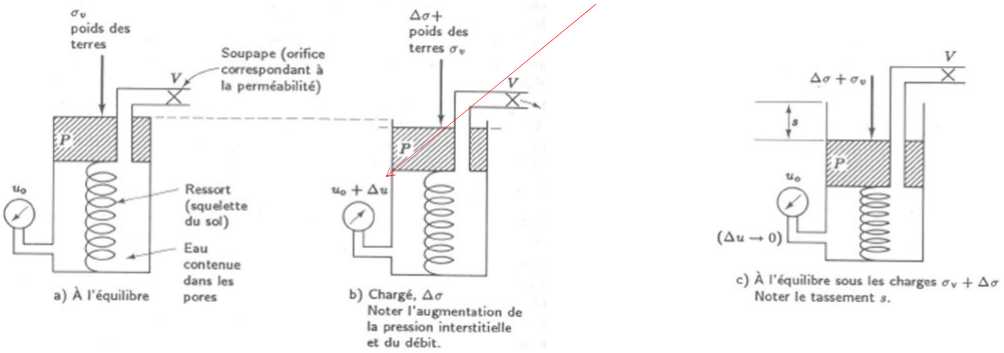
6.2 Équation de la consolidation

6.3 Solution de l'équation de Terzaghi

Consolidation des argiles



pression interstitielle excessive



Degré de consolidation

Calcul précédent tassement total d'un sol fin

- surpressions interstitielles évacuées, - surcharges reprises par les grains solides

Pour un sol très fin quelques mois à plusieurs années

Utilisation de la théorie de Terzaghi et Frohlich

- degré de consolidation moyen d'une couche compressible

$$U = \frac{s_t}{s_\infty}$$

s_t : tassement de la couche au temps t

s_∞ : tassement final de la couche

U : en %

On peut montrer que

$$U = \frac{s_t}{s_\infty} = 1 - \frac{\Delta u}{\Delta u_i}$$

Δu : surpression interstitielle au temps t

Δu_i : surpression interstitielle initiale

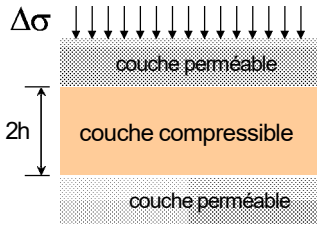
- à l'instant initial (t= 0) $\Delta u = \Delta u_i \rightarrow U = 0$

- à la fin de la consolidation $\Delta u = 0 \rightarrow U = 1$

6.1 Théorie de la consolidation - Hypothèses

Description du problème

- *couche compressible d'épaisseur constante 2h*
- *entre 2 couches de matériaux perméables (sable ou gravier)*
- *surcharge uniformément répartie*



Hypothèses

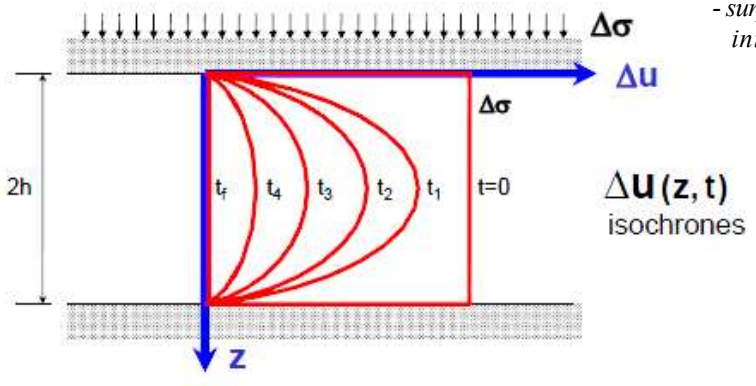
1. *étude de la consolidation primaire*
2. *sol de la couche compressible homogène*
3. *grains + fluide incompressible*
4. *sol saturé*
5. *loi de Darcy applicable*
6. *k constant sur 2h*
7. *squelette élasticité linéaire ($_{Eoed}$ constant)*

6.2 Équation de la consolidation

On démontre que la consolidation U au temps t (en %) :

$$U = 1 - \frac{\Delta u}{\Delta u_i} = 1 - \frac{\int_0^{2h} \Delta u(z,t)\, dz}{2h\ \Delta\sigma}$$

- *aire sous isochrone t_i*
- *surpression interstitielle en un point z, au temps t*
- *aire sous isochrone initiale (t=0)*
- *surpression interstitielle initiale (=Δσ)*



Degré de consolidation :

il suffit de déterminer $\Delta u\ (z, t)$ pour trouver le degré de consolidation

la façon dont se répartie la surpression interstitielle sur la couche compressible en fonction du temps

Équation de la diffusion

→ $\Delta u\,(z, t)$ peut être représenté par l'équation de la diffusion de l'eau ou de la chaleur

$$\frac{\partial \Delta u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 \Delta u}{\partial z^2}$$

c_v = coefficient de consolidation verticale

$$c_v = \frac{k \cdot E_{oed}}{\gamma_w} \quad (m^2/s)$$

6.3 Solution de l'équation de Terzaghi

Résolution d'une équation différentielle du second degré

solution à partir d'une série de Fourier

Conditions limites

$\Delta u(0, t) = 0$

$\Delta u(2h, t) = 0$

surpressions interstitielles nulles aux frontières de la couche

si $t = 0 \rightarrow \Delta u = \Delta u_i = \Delta\sigma$

$$T_v = \frac{c_v}{d^2} \cdot t = \frac{k \cdot E_{oed}}{d^2 \cdot \gamma_w} \cdot t$$

c_v : coefficient de consolidation
d : distance de drainage
t : temps

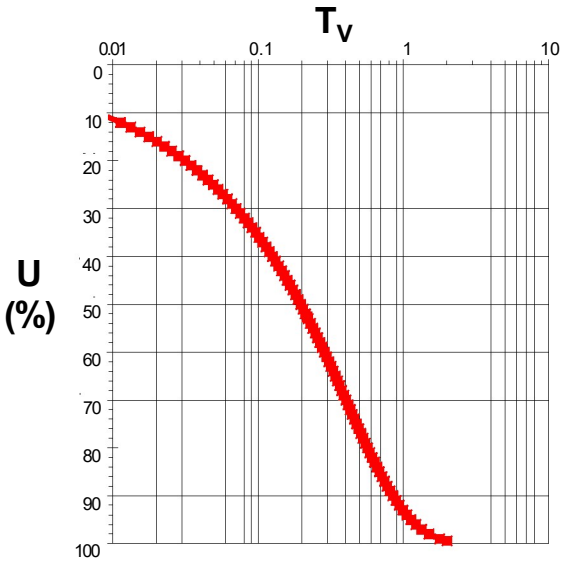
Résolution de l'équation:

$$U = \left(\frac{T_v^3}{T_v^3 + 0.5} \right)^{1/6}$$

Donc $U = f(T_v)$

- *indépendant des caractéristiques géométriques (h) ou mécaniques (k, E_{oed}) du problème*
- *ces caractéristiques ne sont utilisées que pour le calcul de T_v*

$U = f(T_v)$ → fonction indépendante et unique



$$U = \left(\frac{T_v^3}{T_v^3 + 0.5} \right)^{1/6}$$

7- Durée des tassements

7.1 Détermination de c_v à l'œdomètre
méthode de Casagrande

7.2 Temps nécessaire pour obtenir le tassement final

7.3 Consolidation d'un sol composé de plusieurs couches

7.4 Prise en compte du temps de chargement

7.5 Réduction du temps de consolidation

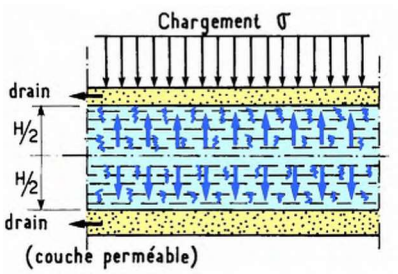
7.5.1 Méthode des drains
7.5.2 Méthode des surcharges

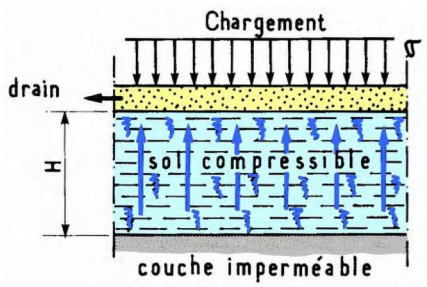
7- Durée des tassements

À partir de T_v $$T_v = \frac{c_v}{d^2} \cdot t$$

c_v : coefficient de consolidation
d : distance de drainage
t : temps

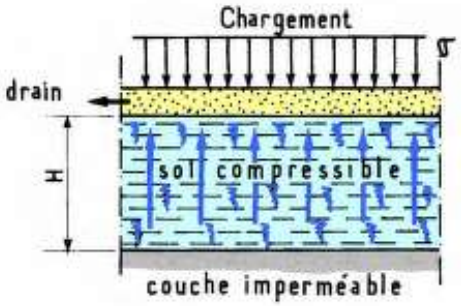
Pour U donné $\rightarrow T_v$ par $U = f(T_v) \rightarrow$ $$t = \frac{d^2}{c_v} \cdot T_v$$





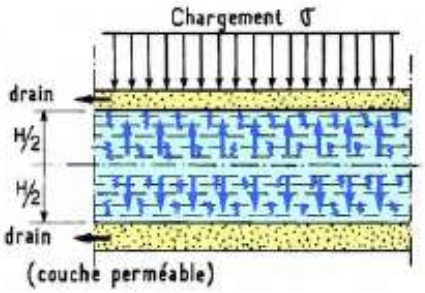
Exemple | H = 1 m
$c_v = 2 \times 10^{-8}$ m²/s

$$t = \frac{d^2}{c_v} \cdot T_v$$



U = 50% → T_v = 0,197
→ t = 114 jours

U = 100% → $T_v \approx 2$
→ t = 1157 jours
(3 ans et 2 mois)



U = 50% → t = 28 jours
U = 100% → t = 289 jours

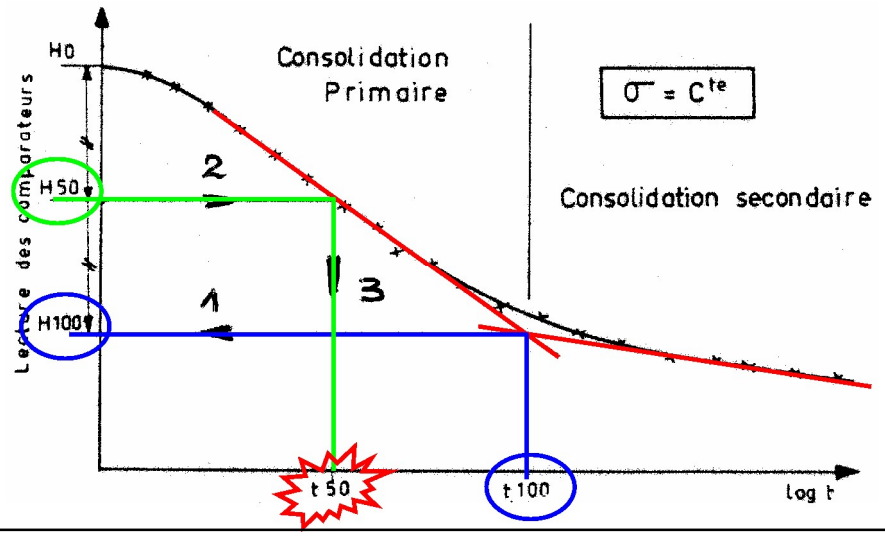
drainage par 2 faces
→ temps divisé par 4

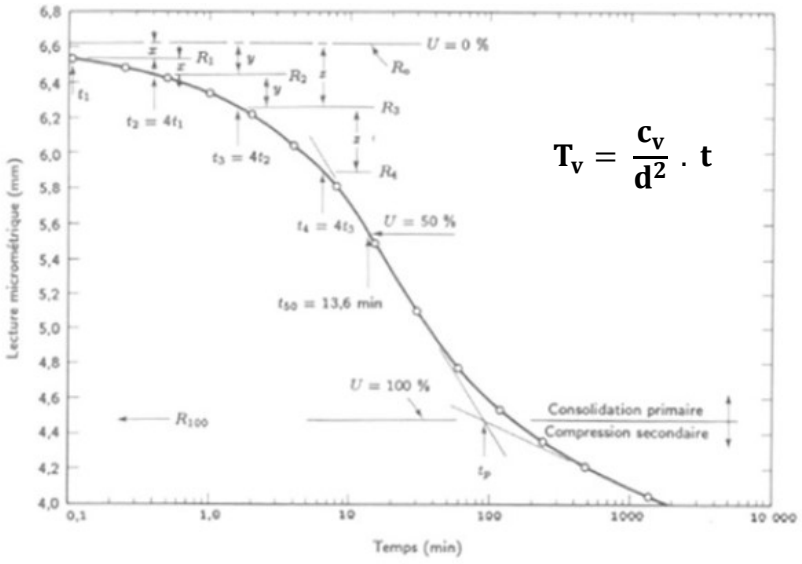
7.1 Détermination de c_v à l'œdomètre
7.1.1 méthode de Casagrande

À partir de la courbe de consolidation

$$T_v = \frac{c_v}{d^2} \cdot t$$

Détermination de t_{50}





$$T_v = \frac{c_v}{d^2} \cdot t$$

A $U = 50\%$, $T_v = 0.197$, donc:

$$0.197 = \frac{c_v t_{50}}{H^2} \Rightarrow c_v = \frac{0.197 H^2}{t_{50}}$$

7.1 Détermination de c_v à l'œdomètre

7.1.2 Méthode de racine carré de TAYLOR – Norme XP 94-090-1

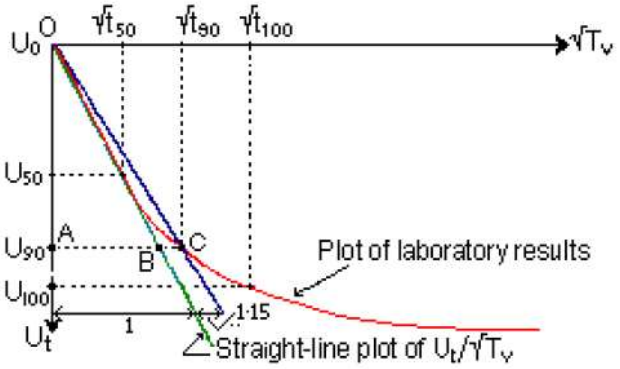
Méthode de racine carrée de Taylor : On trace U vs $\sqrt{T_v}$

Aux petits instants, la formule approchée (ligne verte):

$$U = \sqrt{\frac{4}{\pi}} T_v$$

est tangente à la relation exacte (courbe rouge). A U=0.9, l'extrapolation donne, au point B:

$$\sqrt{T_v} = \sqrt{\frac{\pi}{4}} U = \frac{3.1415}{4} 0.9 = 0.7976$$



tandis que selon la solution exacte (courbe rouge) on a au point C:

$$T_v^{90} = 0.848 \Rightarrow \sqrt{T_v^{90}} = \sqrt{0.848} = 0.9209$$

Il en resort que AC/AB = 0.9209/0.7976 ≈ 1.15.

AC/AB = O.9209/0.7976 ≈ 1.15.

On trace les données dans le plan ($U, \sqrt{t}$).

A la valeur de 90% de tassement, on détermine par extrapolation linéaire (ligne verte) l'abscisse du point B.

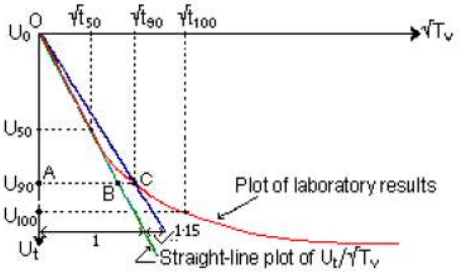
On multiplie par 1.15, pour obtenir la coordonnée horizontale du point C, c'est à dire: $\sqrt{t_{90}}$. On en déduit la valeur de t_{90}.

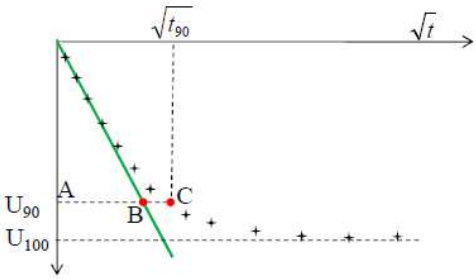
Comme on sait que: $T_v^{90} = 0.848$ et que:

$$T_v^{90} = \frac{c_v t_{90}}{H^2}$$

On en déduit le coefficient de consolidation:

$$c_v = 0.848 \frac{H^2}{t_{90}}$$





Ordre de grandeur de c_v

Kaolinites	$2.10^{-7} < c_v < 4.10^{-7}$
Illites	$10^{-7} < c_v < 2.10^{-7}$
Montmorillonites	$2.10^{-8} < c_v < 10^{-7}$
Argiles sableuses	de l'ordre de 10^{-7}
Limons	de l'ordre de 5.10^{-6}

7.5 Réduction du temps de consolidation

Accélération de la consolidation

Deux principales méthodes

6.5.1 Méthode des drains

$$t = \frac{T_v \cdot d^2}{c_v}$$ → pour diminuer t, il faut augmenter c_v

$$c_v = \frac{k \cdot E_{oed}}{\gamma_w}$$ donc augmenter k

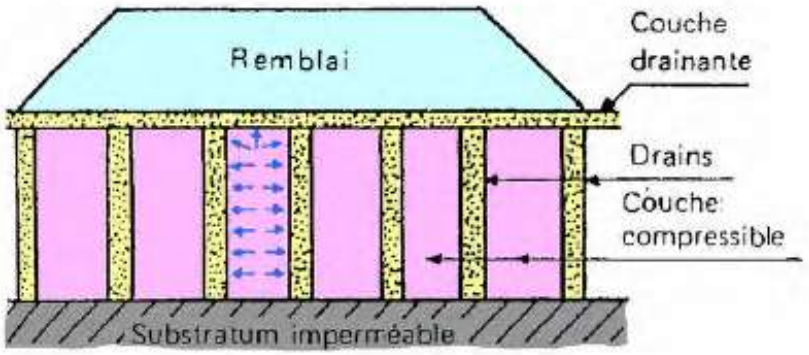
↓

favoriser la drainage de la couche compressible

Principe

-forages verticaux perméables qui traversent la couche compressible

- trame régulière



Théorie de la consolidation de Terzaghi généralisée en 3D

$$1-\mathbf{U}=\left(1-\mathbf{U_v}\right)\cdot\left(1-\mathbf{U_r}\right)$$

- consolidation verticale

$$\mathbf{U_v} \rightarrow \mathbf{T_v}=\frac{\mathbf{c_v}}{\mathbf{d^2}}\cdot\mathbf{t}$$

- consolidation radiale

$$\mathbf{U_r} \rightarrow \mathbf{T_r}=\frac{\mathbf{c_r}}{\mathbf{D^2}}\cdot\mathbf{t}$$

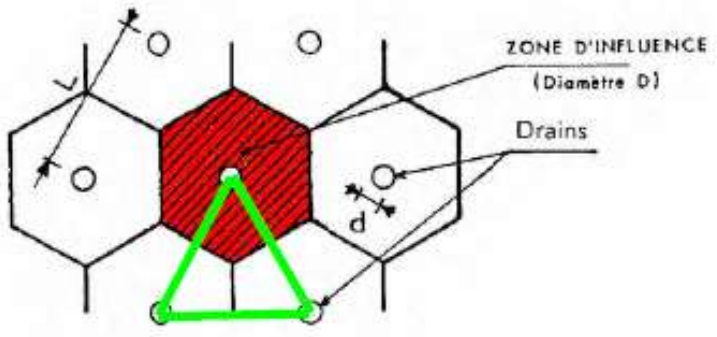
- consolidation radiale

$$\mathbf{U_r} \rightarrow \mathbf{T_r}=\frac{\mathbf{c_r}}{\mathbf{D^2}}\cdot\mathbf{t}$$

c_r = coefficient de consolidation radiale $\quad \frac{\mathbf{c_r}}{\mathbf{c_v}}=\frac{\mathbf{k_h}}{\mathbf{k_v}}$

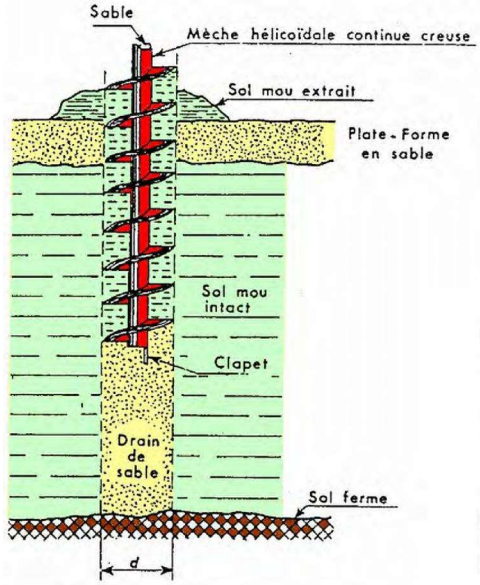
D = diamètre de la zone d'influence du drain

D = 1.05 L D = 1.13 L

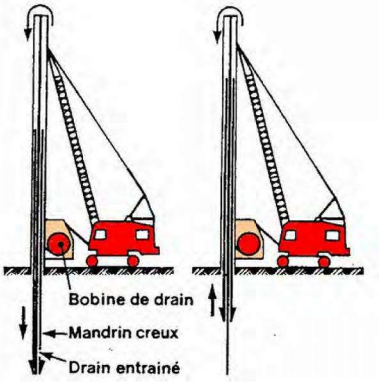


Exécution des drains

- consolidation radiale



a - Réalisation d'un drain de sable par forage à la tarière à âme creuse



Descente du mandrin avec drain

Remontée du mandrin drain posé

b - Mise en œuvre des drains "mèches"

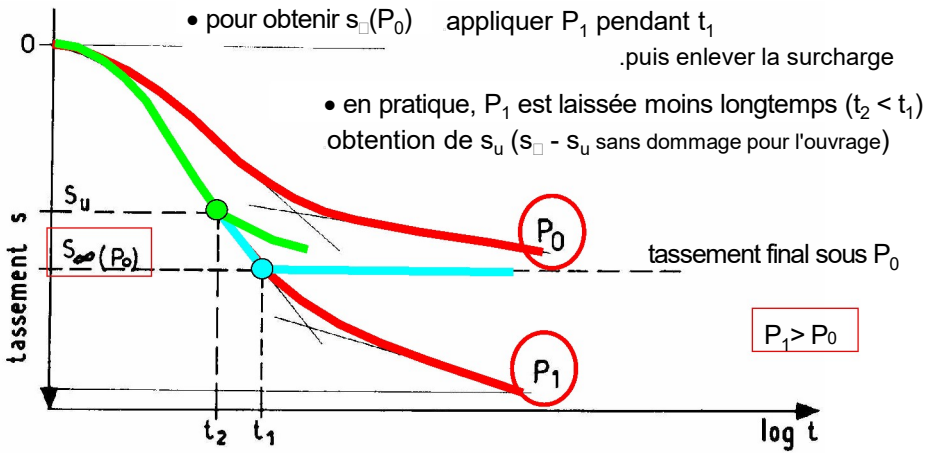
7.5.2 Méthode des surcharges

- ajout de charge sur le sol
- n'affecte pas la relation $U = f(T_v)$

P_0: charge de service de l'ouvrage à construire .et sa courbe de consolidation

Procédé : • avant construction, appliquer une surcharge provisoire P_1 .sa courbe de consolidation

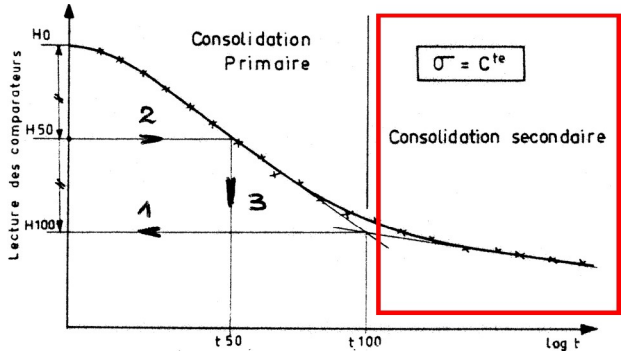
- pour obtenir $s_\infty(P_0)$ appliquer P_1 pendant t_1 .puis enlever la surcharge
- en pratique, P_1 est laissée moins longtemps ($t_2 < t_1$) obtention de s_u (s_∞ - s_u sans dommage pour l'ouvrage)



tassement final sous P_0

$P_1 > P_0$

8- Consolidation secondaire



Fluage du squelette minéral solide

9- Dispositions constructives tassements admissibles

Exemples de tassements admissibles

Type d'ouvrage	Tassement différentiel pour deux points distants de 10 m	Distorsion
Bâtiments d'habitation :		
- normaux	3 à 6 mm	3/10 000 à 6/10 000
- fragiles	3 mm	3/10 000
- souples	7 mm	7/10 000
Constructions industrielles :		
- traditionnelles (charpente métallique ou béton)	10 mm	1/1 000
- traditionnelles avec remplissage fragile	8 mm	0,8/1 000
- traditionnelles sans remplissage	15 mm	1,5/1 000

Recommandations du 4ème congrès international de Mécanique des Sols (Londres 1956)

Type **de mouvement**	**Le tassement doit être limité pour assurer :**	**Tassement maximal**
Tassement total	**le drainage**	**15 à 30 cm**
	la facilité d'accès	**30 à 60 cm**
	une certaine uniformité du tassement	
	– **murs en maçonnerie**	**2 à 5 cm**
	– **poutraison**	**5à 10 cm**
	– **silos, cheminées, radiers**	**8à 30 cm**
Tassements différentiels	**stabilité au renversement des cheminées et tours**	**0,004 B 0,01 L**
	circulation d'engins	**0,01 L 0,003 L à**
	stabilité des empilages de marchandises	**0,0002 L**
	fonctionnement des machines lourdes (avec possibilité de réglage ultérieur)	**0,003 L**
	fonctionnement des grues sur rail	**0,01** L à 0,02 L
	écoulement de l'eau dans les canalisations (attention de ne pas modifier les conditions de l'écoulement)	
	la sécurité à l'égard de la fissuration	0,0005 à 0,001L
	– **grands murs de briques**	0,0025 à 0,004 L
	– **poutres en B.A.**	0,003 L
	– **voiles en B.A.**	0,002 L
	– **poutres continues en acier**	0,005 L
	– **poutres sur appuis simples en acier**	