

GEOTECHNIQUE

Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech

## Partie 3 : Déformations des sols :

### Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich :

#### 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

- *où en est la consolidation primaire ?*
- *combien de temps pour avoir le tassement total ?*

Utilisation de la théorie de Terzaghi et Frohlich

- *degré de consolidation moyen d'une couche compressible*

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

↓  
en %

$s_t$  ——— Z ——— tassement de la couche au temps t

$s_\infty$  ——— Z ——— tassement final de la couche

## Partie 3 : Déformations des sols :

### Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich :

Sachant que

- le tassement est fonction de la diminution de la surpression interstitielle plus l'eau s'évacue

↘ plus les grains solides reprennent la surcharge  $\Delta\sigma'$

↘ plus le tassement progresse

On peut montrer que

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

— surpression interstitielle au temps t  
— surpression interstitielle initiale

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

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

## Partie 3 : Déformations des sols :

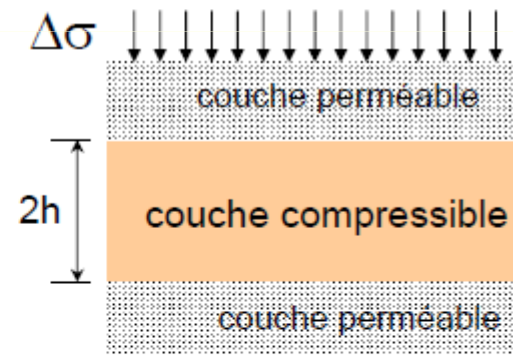
### Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich :

#### 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  $\rightarrow$  homogène
- 3- grains + fluide  $\rightarrow$  incompressible
- 4- sol saturé
- 5- loi de Darcy applicable
- 6-  $k$  constant sur  $2h$
- 7- squelette  $\rightarrow$  élasticité linéaire ( $E_{oed}$  constant)



## Partie 3 : Déformations des sols :

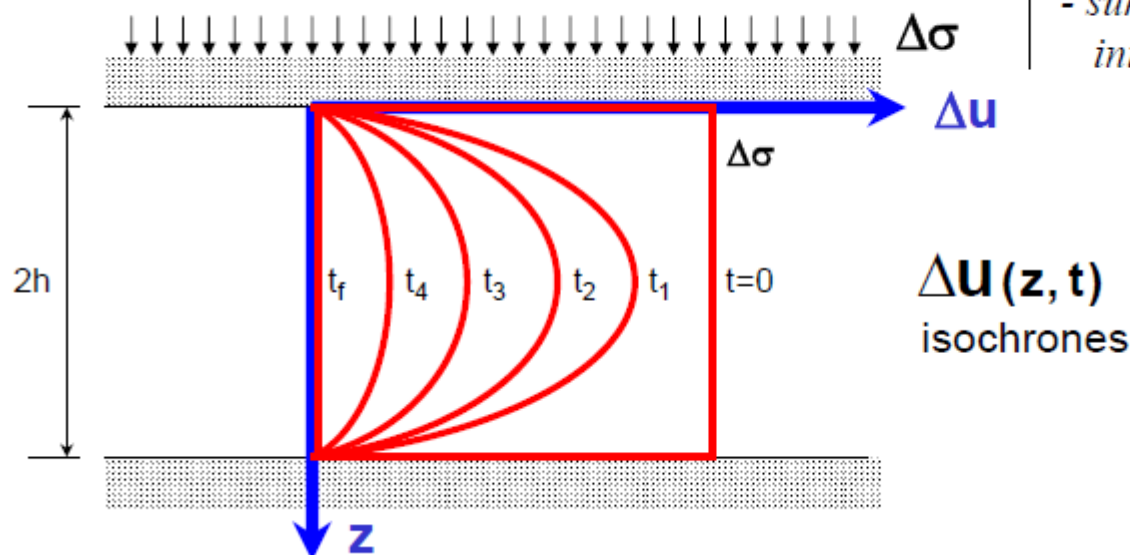
### Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich :

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 ( $=\Delta\sigma$ )



## Partie 3 : Déformations des sols :

### Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich :

Paramètres sans dimension

**Z** : paramètre géométrique

**T** : facteur temps

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

Retour au degré de consolidation

$c_v$  : coefficient de consolidation

$d$  : distance de drainage

$t$  : temps

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

→ en remplaçant  $\Delta u(z, t)$  on obtient :

$$U = 1 - \frac{8}{\pi^2} \cdot \sum \frac{1}{n} \cdot \exp\left(\frac{-n^2 \pi^2 T_v}{4}\right)$$

$$U = f(T_v) \rightarrow U \text{ ne dépend que de } T_v$$

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

## Partie 3 : Déformations des sols :

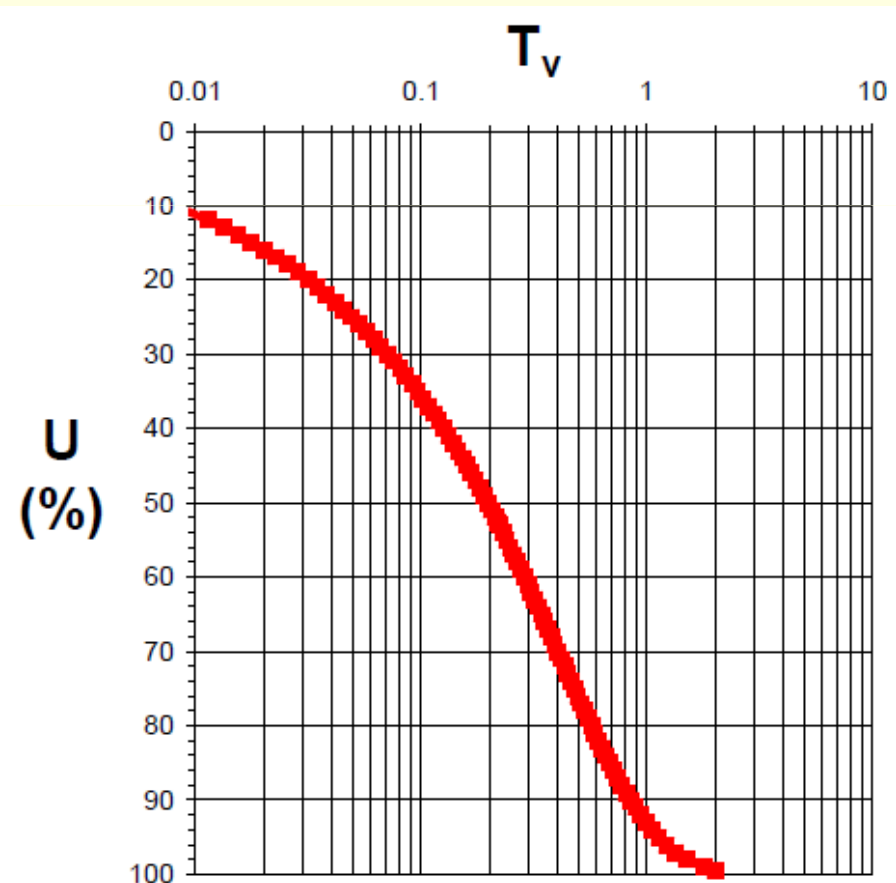
Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich :

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

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

$c_v$  = coefficient de consolidation verticale

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



## Partie 3 : Déformations des sols :

### Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich :

À partir de  $T_v$

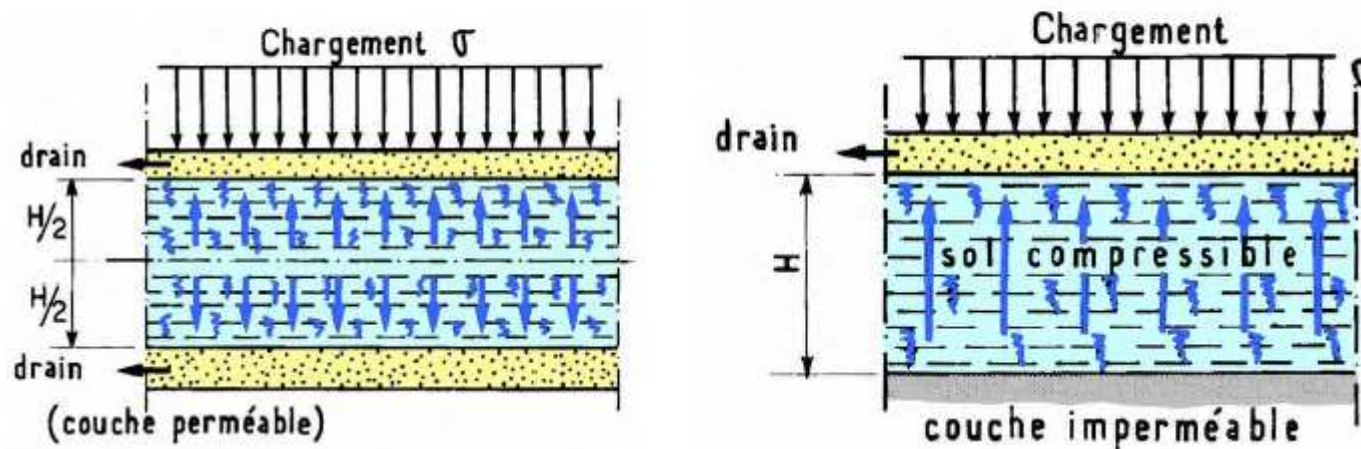
$$T_v = \frac{c_v}{d^2} \cdot t$$

$c_v$  : coefficient de consolidation

$d$  : distance de drainage

$t$  : temps

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





## Partie 3 : Déformations des sols :

### Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich :

TABLE DE LA FONCTION  $U(T_v)$

$T_v$	U	$T_v$	U
0,004	0,0795	0,175	0,4718
0,008	0,1038	0,200	0,5041
0,012	0,1248	0,250	0,5622
0,020	0,1598	0,300	0,6132
0,028	0,1889	0,350	0,6582
0,036	0,2141	0,400	0,6973
0,048	0,2464	0,500	0,7640
0,060	0,2764	0,600	0,8156
0,072	0,3028	0,700	0,8559
0,083	0,3233	0,800	0,8874
0,100	0,3562	0,900	0,9119
0,125	0,3989	1,000	0,9313
0,150	0,4370	2,000	0,9942
0,167	0,4610	$\infty$	1,0000

## Partie 3 : Déformations des sols :

### Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich :

TABLE DE LA FONCTION  $T_v(U)$

U	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
$T_v$	0,008	0,031	0,071	0,127	0,197	0,287	0,403	0,567	0,848	$\infty$

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

$T_v$  : facteur temps,

U : degré de consolidation moyen,

d : distance de drainage

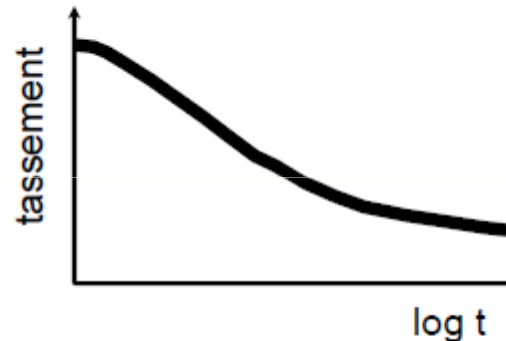
(= épaisseur de la couche si drainée sur une face)

$c_v$  : coefficient de consolidation

## Partie 3 : Déformations des sols :

### Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich :

À partir de la courbe de consolidation



→ application de la relation  $T_v = \frac{c_v}{d^2} \cdot t$  pour un degré de consolidation  $U$  de 50%

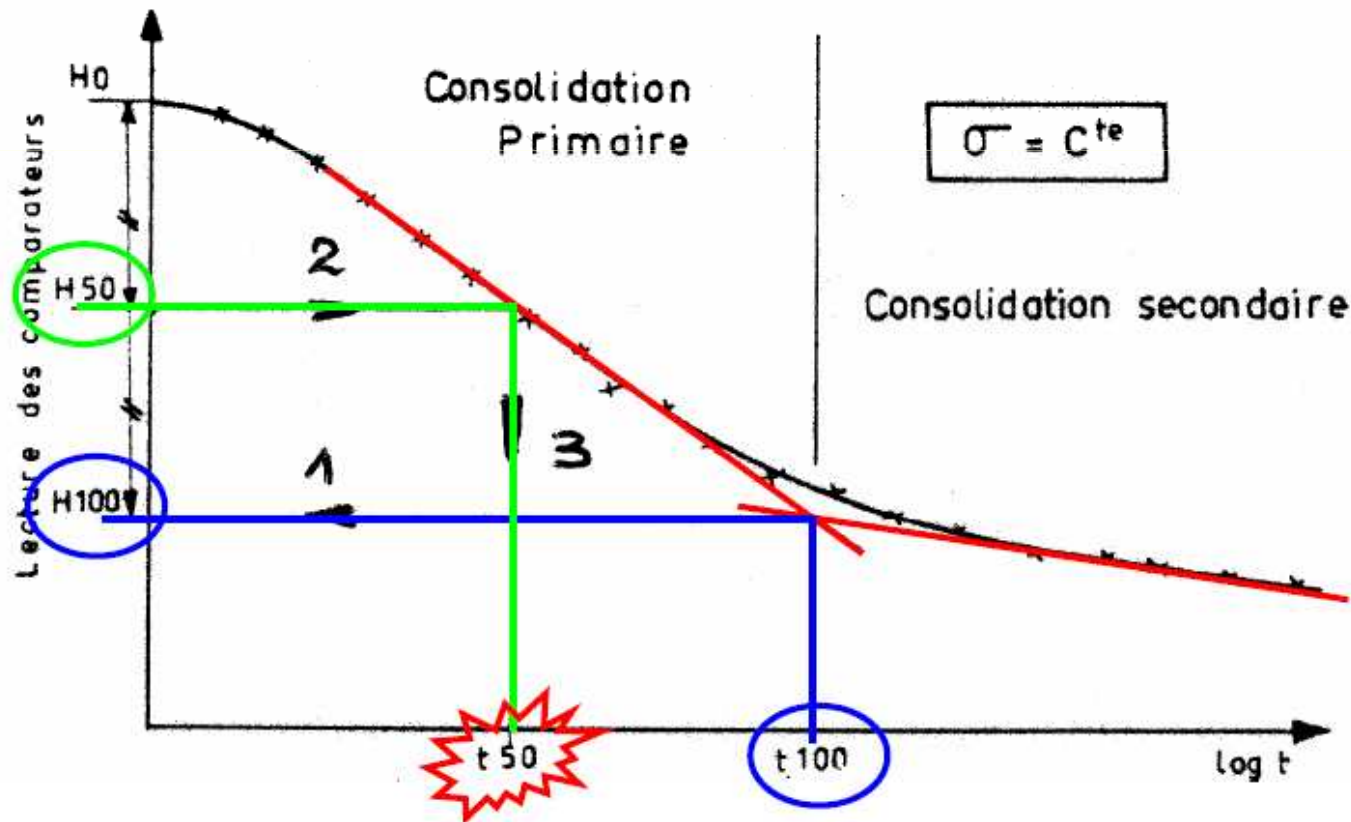
$$c_v = \frac{T_v \cdot d^2}{t}$$

- $T_v = 0.197$  (pour  $U=50\%$ )
- $d =$  distance de drainage  
(demi épaisseur de l'échantillon dans l'oedomètre)
- $t = t_{50} =$  temps nécessaire pour atteindre 50%  
de la consolidation primaire

## Partie 3 : Déformations des sols :

### Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich :

Détermination de  $t_{50}$



## Partie 3 : Déformations des sols :

### Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich :

#### 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  $c_v$

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

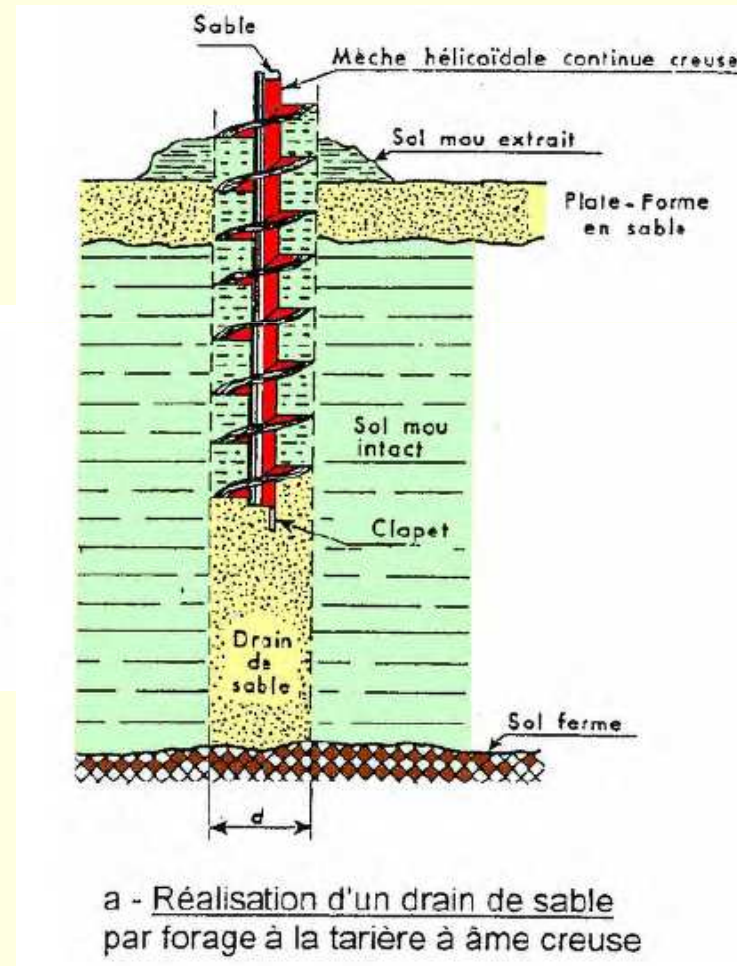
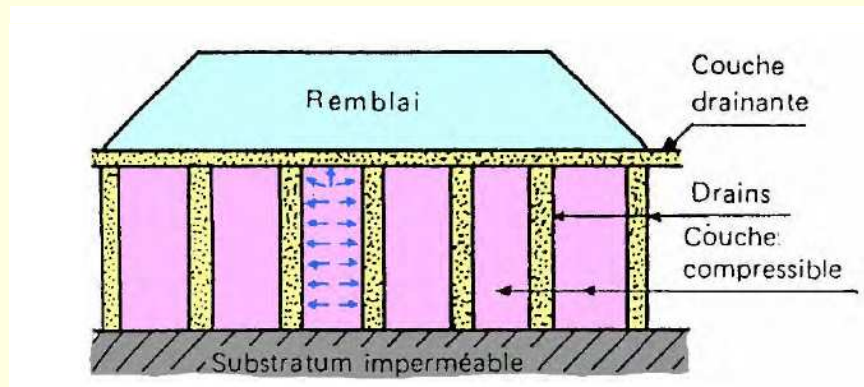
donc augmenter  $k$



*favoriser la drainage de la couche compressible*

## Partie 3 : Déformations des sols :

### Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich :



## Partie 3 : Déformations des sols :

### Théorie de la consolidation de Terzaghi et Frohlich :

- ajout de charge sur le sol
- $\Delta\sigma$  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

