

## TP ESSAI ŒDOMETRIQUE

Norme NF P 94-090-1

### 1. OBJECTIF :

Pour évaluer les tassements d'un sol sous le poids d'une charge (fondation, remblai, etc.), il est nécessaire de connaître certaines caractéristiques du sol qui sont déterminées à l'aide de l'essai de compressibilité à l'œdomètre.

Cet essai permet de prévoir l'amplitude des tassements des sols ainsi que leur évolution dans le temps sous une charge donnée en fournissant les caractéristiques du sol suivantes :

- L'indice de compression  $C_c$
- L'indice de gonflement  $C_s$
- La contrainte de préconsolidation du sol  $\sigma'_p$
- Le module œdométrique  $E_{oed}$
- Le coefficient de consolidation  $C_v$

La connaissance de ces trois grandeurs  $C_c$ ,  $\sigma'_p$  et  $e_0$  permet de calculer le tassement  $\Delta H$  à long terme (ou drainé) d'une couche d'épaisseur  $H$  produit par une charge déterminée

$$\Delta H = H \frac{C_c}{1 + e_0} \log \left( \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma}{\sigma'_p} \right)$$

### 2. LE PHENOMENE DE CONSOLIDATION :

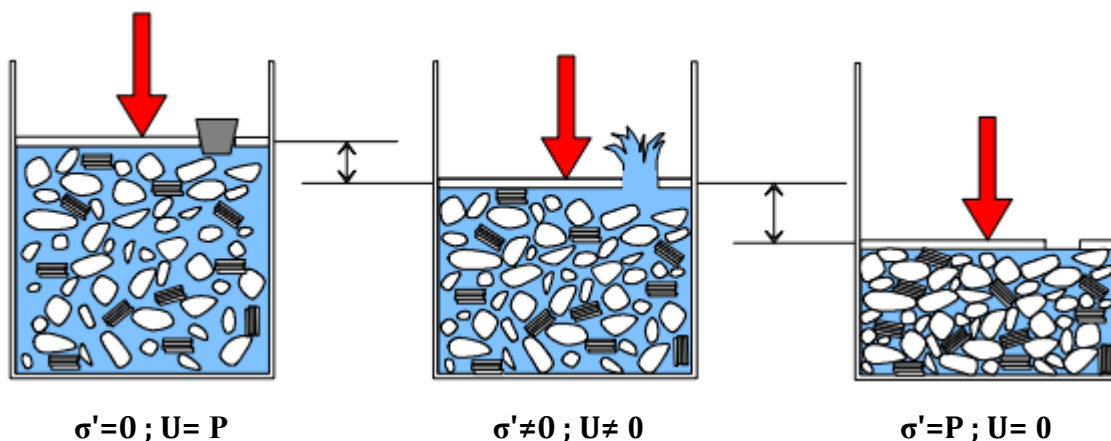


Schéma du phénomène de consolidation

1. Le sol chargé est saturé d'eau. L'eau ne peut pas s'évacuer et supporte presque seule la charge.
2. La perméabilité permet à l'eau de s'évacuer. Les grains se tassent et prennent progressivement l'effort en charge.
3. Seuls les grains supportent la charge. Ils subiront encore un très léger tassement. **Le sol est consolidé.**

On désigne ainsi par « consolidation » l'ensemble des phénomènes qui interviennent dans ce processus depuis l'état initial jusqu'à l'état final qui correspondre à un état d'équilibre.

### 3. PRINCIPE :

Cet essai a pour objet d'étudier la consolidation d'une éprouvette de sol saturée intact ou remanié, soumise à des charges verticales, drainée en haut et en bas et maintenues latéralement par une paroi rigide. Les variations de hauteur de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai en fonction de la durée d'application de la charge.

### 4. APPAREILLAGE DE L'ESSAI :

- Bâti de consolidation, supporte la cellule œdométrique, comportant un levier qui transmet les charges avec un rapport de 10.
- Cellule œdométrique comporte les éléments suivants :
  - ✓ Une bague œdométrique cylindrique rigide qui reçoit l'éprouvette.
  - ✓ Un piston permette de répartir l'effort appliqué sur l'éprouvette.
  - ✓ Deux pierres poreuses avec le papier filtrent. Ce dernier sert à protéger les pierres du colmatage dû aux grains fins.
- Série de poids.
- Comparateur au 1/100 mm.
- Chronomètre.
- Balance précise au 1/100 g.

### 5. MODE OPERATOIRE :

#### *a. Mise en place d'un échantillon de sable :*

On se propose dans cette expérience d'étudier un échantillon de sable sec pour lequel le tassement est essentiellement instantané et peut évoluer par le fluage.

- Préparer environ 500g de sable sec tamisé à 0,4 mm.
- Mesurer le diamètre intérieur de la bague œdométrique  $D$ , et sa hauteur  $H_0$  (mm).
- Peser l'ensemble « moule, bague et la pierre poreuse inférieure » (N).
- Remplir la bague avec du sable sec en appliquant une pression modérée à la main sur le piston positionné sur l'échantillon pour le compacter.
- Déterminer le poids de l'ensemble « moule, bague, pierre poreuse inférieure et sable sec ». En déduire le poids du sable sec.

#### *b. Réalisation de l'essai :*

- Placer la cellule sur son plateau.
- Mettre le levier à niveau puis placer le comparateur et régler le à zéro.
- Remplir le réservoir avec de l'eau pour la saturation et l'observation de la variation de hauteur de l'éprouvette commence à partir de ce moment.
- Après stabilisation, faire une lecture du comparateur  $\Delta H_0$  et en déduire la hauteur initiale de l'échantillon saturé (notée  $H_i$ ).
- Réinitialiser le comparateur. L'échantillon est alors prêt pour l'essai œdométrique.

#### *c. Chargement de l'éprouvette :*

- Commencer le cycle de chargement en appliquant successivement les charges suivant 1 ; 2 ; 4 ; 8 ; 16 kg. (ne jamais retirer le poids précédent, ajouter le complément de poids).
- Chaque palier doit durer 4 minutes. Mesurer le tassement suivant la cadence suivante : 0, 5 s, 10 s, 15 s, 30 s, 45 s, 60 s, 75 s, 90 s, 120 s et 240 s. On admettra pour la circonstance que la consolidation est atteinte au bout de 4 min (en fait pour un essai normal, un palier dure 24h)
- Effectuer ensuite le cycle de déchargement suivant le même processus jusqu'à 2 kg.
- Recharger l'éprouvette en utilisant le cycle 8 ; 16 ; 32 ; 64 kg et faire les lectures jusqu'à 8 minutes pour les deux dernière charges.
- Démontez et déterminer la teneur en eau de l'éprouvette de sol.

## 6. CALCUL ET RESULTATS :

### a. Courbe de compressibilité :

La courbe de compressibilité (figure 1) est la courbe continue qui relie les points expérimentaux représentés dans le diagramme ( $e - \log \sigma$ ).

$$e_i = \frac{h_0 - \Delta h_i - h_s}{h_s} \quad \text{avec :} \quad h_s = \frac{P_s}{S \times \gamma_s}$$

$e_i$  : désigne l'indice des vides de l'échantillon à la fin du palier de chargement sous  $\sigma_i$  ;

$\Delta h_i$  : la variation de la hauteur de l'éprouvette sous  $\sigma_i$  ;

$h_s$  : hauteur de solide équivalente ou hauteur des pleins ;

$P_s$  : poids de sol sec obtenu par pesée de l'éprouvette après passage à l'étuve ;

$S$  : section droite de l'éprouvette ;

$\gamma_s$  : poids volumique des grains. On pourra prendre généralement  $\gamma_s = 26.5 \text{ kN/m}^3$ .

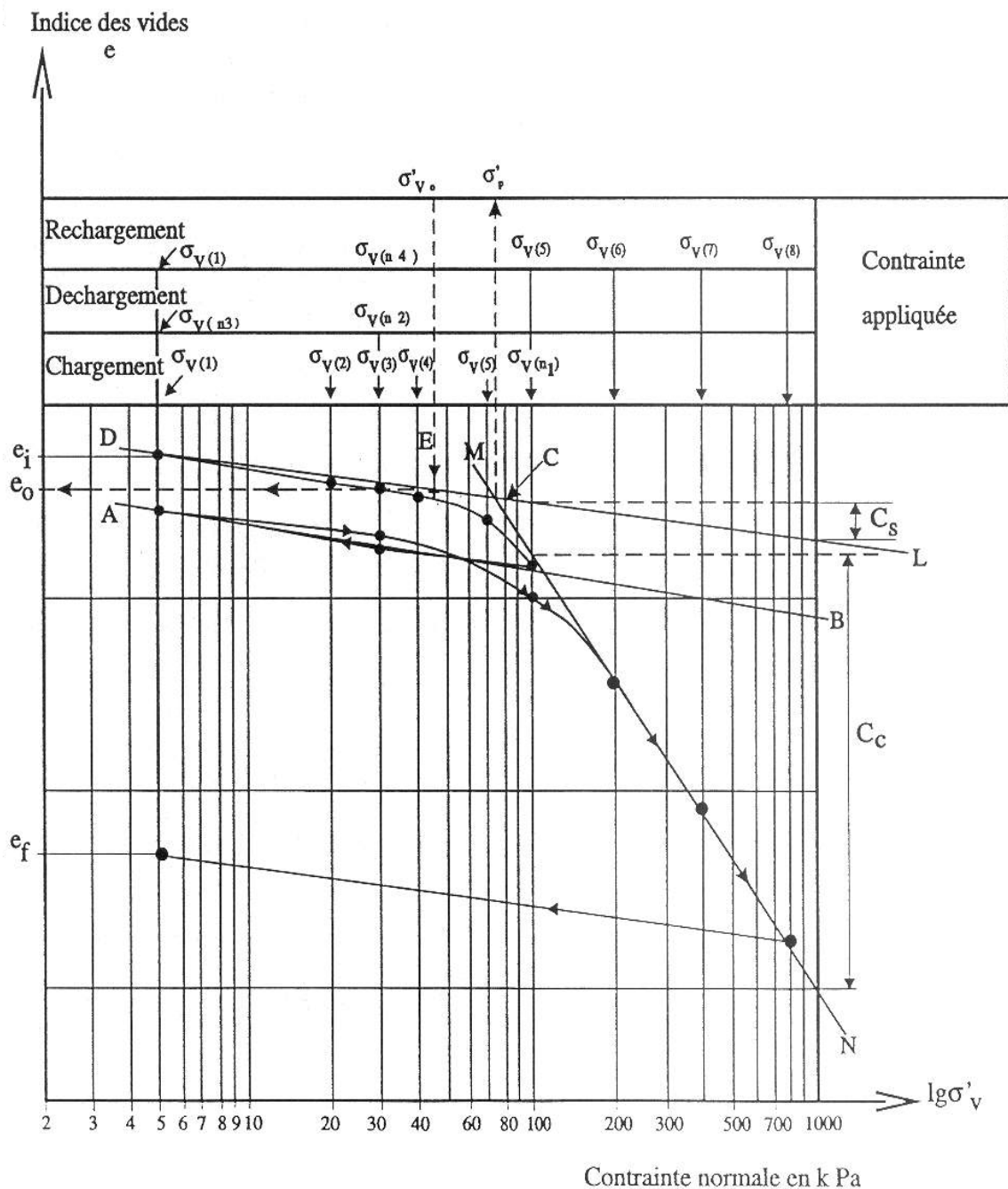


Figure 1 : courbe de compressibilité

Sur cette courbe :

- Tracer la droite AB selon la pente moyenne de la boucle de déchargement rechargement.
- A partir du point D, origine de la courbe de compressibilité expérimentale, tracer la droite DL parallèle à AB.
- Tracer la droite MN issue de l'ajustement des deux derniers points expérimentaux.

**L'indice de gonflement  $C_s$**  est la pente de la droite DL (ou AB).  $C_s = \frac{\Delta e}{\Delta(\log \sigma')}$

**L'indice de compression  $C_c$**  est la pente de la droite MN.  $C_c = -\frac{\Delta e}{\Delta(\log \sigma')}$

**La contrainte de préconsolidation  $\sigma'_p$**  est la pressions effectives maximum à laquelle le sol a été chargé pendant son histoire. On la détermine par le point C intersection des droites DL et MN.

On dira que le terrain est :

- ✚ Surconsolidé si  $\sigma'_p > \sigma'_{v0}$
- ✚ Normalement consolidé si  $\sigma'_p = \sigma'_{v0}$
- ✚ Sousconsolidé si  $\sigma'_p < \sigma'_{v0}$  (la plus grande pression reçue est encore à venir. La consolidation n'est pas terminée).

**Le module œdométrique  $E_{oed}$**  est déterminé pour chaque palier de chargement. Entre deux contraintes  $\sigma'_n$  et  $\sigma'_{n+1}$  (où  $\sigma'_{n+1} > \sigma'_n$ ) on définit le module œdométrique par :

$$E_{oed(\sigma'_{n+1}, \sigma'_n)} = \frac{\Delta \sigma'}{\Delta h / h_0} = \frac{\sigma'_{n+1} - \sigma'_n}{h_n - h_{n+1}} h_0 = \frac{(\sigma'_{n+1} - \sigma'_n)(1 + e_0)}{e_n - e_{n+1}}$$

$h_n$  et  $h_{n+1}$  les hauteurs de l'éprouvette à la fin de la consolidation sous les contraintes  $\sigma'_n$  et  $\sigma'_{n+1}$ .  
 $h_0$  est la hauteur initiale de l'éprouvette

### ***b. Courbe de consolidation :***

On trace pour un palier de chargement la courbe qui donne la variation du tassement en fonction du temps. Deux méthodes peuvent être utilisées :

- La méthode de la racine carrée de Taylor ( $\Delta h, \sqrt{t}$ ) ;
- La méthode du logarithme de Casagrande ( $\Delta h, \lg t$ ).

### ***Détermination du coefficient de consolidation $C_v$ par la méthode de Casagrande :***

Pour un palier de chargement donné, le tassement conventionnel  $S_c$  est obtenu en déduisant du tassement obtenu à 0,1 min, la différence des tassements entre 0,4 min et 0,1 min.

Tracer sur la courbe la droite  $C_1$  correspondant à la tangente au point d'inflexion et la droite  $C_2$  correspondant à la partie linéaire finale. Les droites  $C_1$  et  $C_2$  se coupent conventionnellement en un point de coordonnées  $(t_{100}, S_{100})$  qui représente la fin du tassement primaire.

En déduire de la courbe le temps  $t_{50}$  nécessaire pour obtenir 50% de consolidation, c'est à dire pour un tassement  $S_{50} = 0.5 (S_c + S_{100})$ .

**Le coefficient de consolidation  $C_v$**  d'une éprouvette saturée déterminé pour un degré de consolidation 50 % à partir de :

$$C_v = \frac{T_v \times h_d^2}{t} = \frac{0.197 \times h^2}{4 \times t_{50}}$$

avec :  $T_v = 0.197$  au moment où  $t = t_{50}$ ;

$h_d$  = distance de drainage (la demi-épaisseur de l'éprouvette).

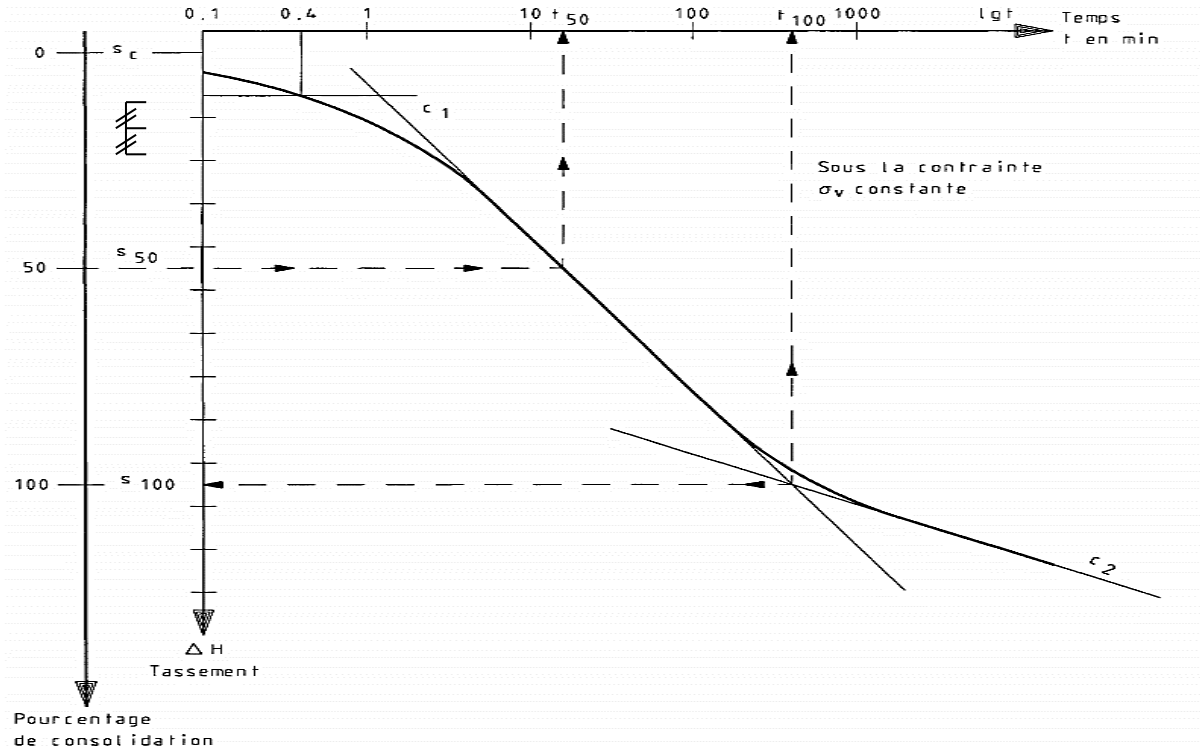


Figure 2 : Courbe de consolidation (Méthode de Casagrande)

| Chargement |              |      |              |       |       |       |
|------------|--------------|------|--------------|-------|-------|-------|
| t          | 0            | 1 kg | 2 kg         | 4 kg  | 8 kg  | 16 kg |
| 0          |              |      |              |       |       |       |
| 15"        |              |      |              |       |       |       |
| 30"        |              |      |              |       |       |       |
| 60"        |              |      |              |       |       |       |
| 120"       |              |      |              |       |       |       |
| 240"       |              |      |              |       |       |       |
|            | Déchargement |      | Rechargement |       |       |       |
|            | 8 kg         | 2 kg | 8 kg         | 16 kg | 32 kg | 64 kg |
| 0          |              |      |              |       |       |       |
| 5"         |              |      |              |       |       |       |
| 10"        |              |      |              |       |       |       |
| 15"        |              |      |              |       |       |       |
| 30"        |              |      |              |       |       |       |
| 45"        |              |      |              |       |       |       |
| 60"        |              |      |              |       |       |       |
| 75"        |              |      |              |       |       |       |
| 90"        |              |      |              |       |       |       |
| 120"       |              |      |              |       |       |       |
| 240"       |              |      |              |       |       |       |

## 7. RAPPORT A RENDRE

- Le rapport comportera :
- La courbe de compressibilité
- Le calcul de  $C_c$ ,  $C_s$  et  $\sigma'_p$
- La courbe de consolidation par la méthode de Casagrande (pour les derniers paliers de chargements 16, 32 et 64 kg)
- Le calcul de  $t_{100}$  et  $C_v$

[illegible]

**Figure 3 : Procès-verbal d'essai — Exemple**