

# **L'essai de compressibilité à l'oedomètre**

## **SOURCES**

MODES OPERATOIRES DU LABORATOIRE  
CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES  
SANGLERAT – INTERNET

# L'ESSAI DE COMPRESSIBILITE A L'OEDOMETRE

## 1/ GENERALITES

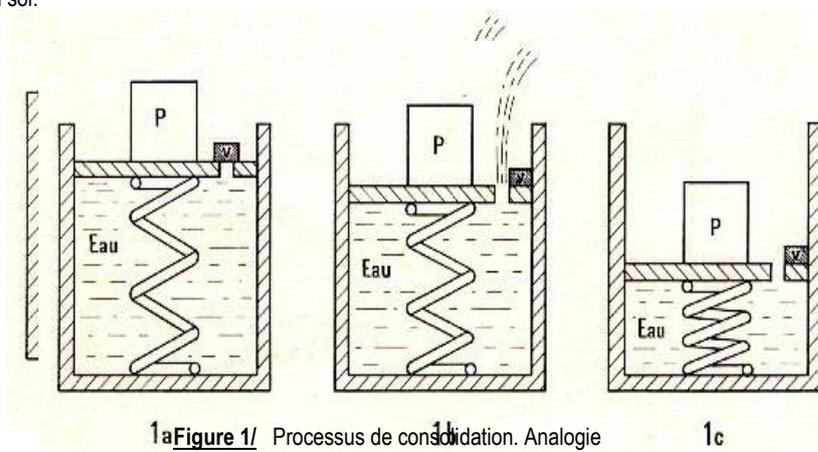
### 1.1/ Définition de l'essai

Lorsqu'un **sol fin saturé** est soumis à une charge, celle-ci est en général supportée initialement par l'eau interstitielle, car l'eau est incompressible en comparaison de la structure solide du sol. Il en résulte une surpression dans l'eau interstitielle, au voisinage de la zone d'application de la charge. Un gradient de pression s'établit et l'eau est chassée plus ou moins rapidement, suivant la perméabilité du sol, vers les zones de moindres pressions.

Au fur et à mesure que ce drainage s'effectue, la charge est peu à peu reportée sur le squelette solide. Ce processus est accompagné d'un changement de volume du sol, qui est approximativement égal au volume de l'eau drainée. On arrive ainsi à un nouvel état d'équilibre sous la charge considérée.

Le processus de consolidation peut être compris à l'aide de l'analogie indiquée dans la **figure 1**, où l'eau correspond à l'eau interstitielle et le ressort à la structure du sol, celui-ci étant saturé.

- Si un poids **P** est placé sur le système, la valve **v** étant fermée, ce poids est entièrement supporté par l'eau, considérée incompressible (**figure 1a**).
- Si la valve **v** est ouverte et si l'eau peut s'échapper (**figure 1b**), le poids **P** est supporté progressivement par le ressort, jusqu'à un état d'équilibre. A ce moment, le poids **P** n'est plus supporté que par le ressort, c'est-à-dire par la structure du sol (**figure 1c**).
- Le temps requis pour transmettre le poids **P** de l'eau sur le ressort dépend de la **vitesse** avec laquelle l'eau peut s'échapper de la valve **v**, c'est-à-dire de la **perméabilité** du sol.



### 1.2/ But de l'essai

L'essai de compressibilité à l'oedomètre (appelé aussi essai oedométrique) a pour objet essentiel d'étudier la consolidation d'échantillons de sols intacts ou remaniés, soumis à des charges verticales, drainés suivant cette direction et maintenus latéralement par une paroi rigide.

Il permet de suivre la consolidation au cours du temps et de déterminer les relations entre les charges et les déformations obtenues sous ces charges, après consolidation. Il permet également d'atteindre le coefficient de perméabilité verticale pour une compacité donnée.

Pratiquement, cet essai permet de prévoir l'importance et la durée des tassements des sols sous une charge donnée, sous réserve de nombreuses hypothèses dont il faut vérifier le bien-fondé dans chaque cas particulier.

Il fournit deux propriétés caractéristiques du sol en place, définie en pages 84, 85 et 86.

- L'indice de compression **C<sub>c</sub>** qui indique la compressibilité du sol.
- Le coefficient de consolidation **C<sub>v</sub>** qui permet de déterminer les temps de consolidation sous une charge donnée.

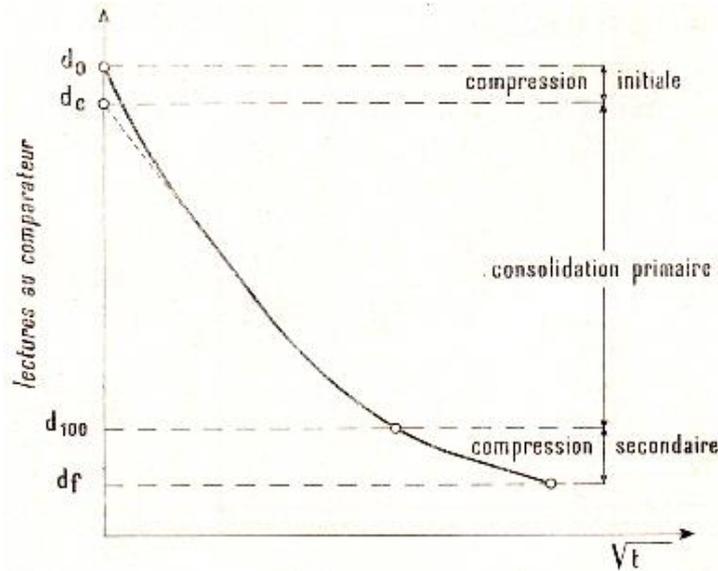
La courbe efforts-déformations obtenue à l'essai de compressibilité à l'oedomètre fournit également de précieux renseignements sur l'histoire du sol : sol normalement consolidé, surconsolidé ou sous-consolidé.

En fait, la déformation totale se développe suivant trois phases successives :

- La compression initiale,
- La compression ou consolidation primaire,
- La compression secondaire.

Cette distinction apparaît sur la **figure 2**, montrant un graphique des déformations pour un effort donné en fonction de la racine carré des temps.

- La valeur **d<sub>0</sub>** est la lecture au comparateur, au début de la compression.
- La valeur **d<sub>c</sub>** (zéro corrigé) est obtenue par une construction décrite en page 85.
- La valeur **d<sub>100</sub>** obtenue suivant la méthode décrite en page 85.
- La valeur **d<sub>f</sub>** est la lecture finale.



**Figure 2/** Déformations en fonction de la racine carré des temps, pour un effort donné.

Le tassement de  $d_0$  à  $d_c$  correspond à la compression initiale, attribuée à une compression de l'air résiduel, à une déformation élastique du squelette solide, aux erreurs d'appareillage.

Le tassement de  $d_c$  à  $d_{100}$  correspond à la consolidation primaire, due à l'élimination de l'excès de pression interstitielle, par drainage de l'eau. Ce tassement est en général le plus important.

Le tassement de  $d_{100}$  à  $d_f$  correspond à une partie de la compression secondaire, attribuée à un fluage plastique sous pression interstitielle parce que très lent et due probablement à un ajustement graduel de la structure du sol.

### 1.3/ Principe de la méthode

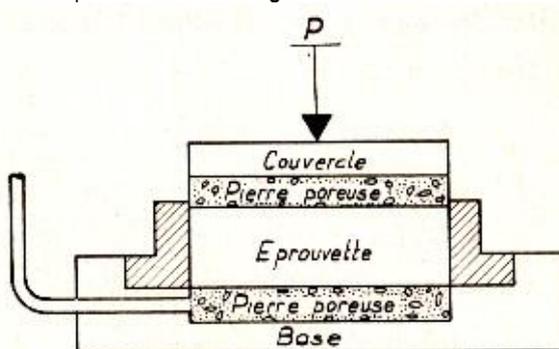
C'est un essai de mesure des déformations, à charge constante, d'une éprouvette cylindrique, avec déformation latérale nulle et drainage sur les deux faces inférieure et supérieure.

## 2/ APPAREILLAGE

### 2.1/ Appareillage spécifique

#### 2.1.1/ Le moule oedométrique ou moule de consolidation

Différentes variantes existent dans la conception du moule oedométrique, mais qui répondent toutes au principe défini dans le paragraphe 1.3 et représenté sur la coupe schématisé de la **figure 3**.



**Figure 3/** Coupe schématisée d'un moule oedométrique

- L'éprouvette d'essai est retenue latéralement par une paroi lisse indéformable. Elle est comprise entre deux pierres poreuses ou entre deux disques de métal fretté, avec possibilité pour l'eau de circuler.
- L'effort de compression s'exerce verticalement sur l'éprouvette par l'intermédiaire d'un couvercle ou d'un piston rigide qui répartit l'effort.
- Les déformations de l'éprouvette sont lues sur un ou deux comparateurs.

Le moule oedométrique qui est représenté sur les **figures 4, 5 et 6** est le moule de Terzaghi. Il comprend essentiellement :

- Un piston creux coulissant, sans jeu ni frottement, dans un cylindre de 70 mm de diamètre intérieur.
- Une goupille pouvant bloquer l'ensemble piston-cylindre suivant deux positions telles que l'emplacement destiné à l'éprouvette d'essai ait une hauteur de 12 ou 24 mm.
- Une base comprenant un conduit d'évacuation d'eau et dans laquelle se visse le collier de serrage du cylindre.
- Un joint rond en caoutchouc assurant une parfaite étanchéité de l'ensemble cylindre-base.

- Deux pierres poreuses bien encastrées jusqu'à affleurement, l'une dans la base du moule, l'autre dans le piston creux.
- Deux broches de vissage pour le collier de serrage.

Avec un tel moule oedométrique :

- Les dimensions de l'éprouvette d'essai sont : pour le diamètre, 70 mm et pour la hauteur, 12 ou 24 mm.
- Les charges sont transmises à l'éprouvette par l'intermédiaire du piston et les enfoncements du cylindre dans le piston, lus sur deux comparateurs, donnent les déformations.
- Le drainage vertical est assuré, l'eau s'écoulant librement entre le conduit d'évacuation, la pierre poreuse inférieure, l'éprouvette d'essai, la pierre poreuse supérieure, la partie inférieure perforée du piston et les trous de goupilles.

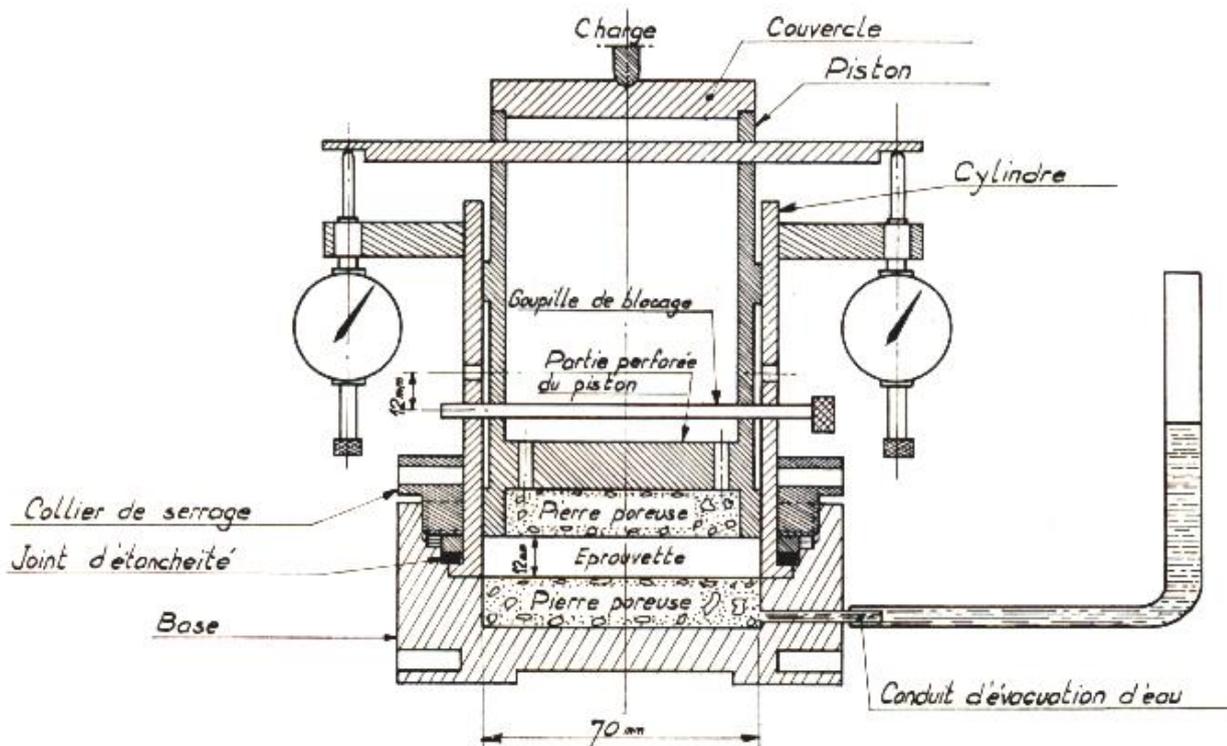


Figure 4/ Coupe schématisée du moule oedométrique de Terzaghi

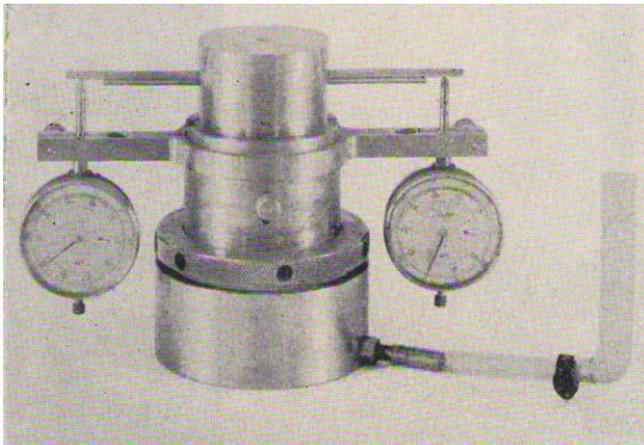
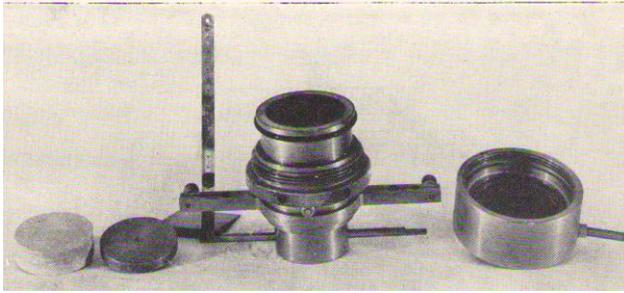


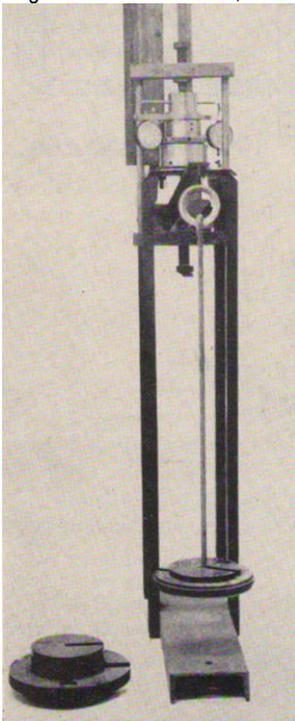
Figure 5/ Moule oedométrique de Terzaghi



**Figure 6/** Détails du moule oedométrique de Terzaghi

### 2.1.2/ Le bâti de consolidation

Comprenant essentiellement un levier qui transmet les charges, le bâti de consolidation doit être stable, rigide et doit appliquer les charges suivant l'axe du piston. Ces exigences étant satisfaites, il admet de nombreuses variantes de forme et de gabarit. La **figure 7** représente des modèles courants.



**Figure 7/** Modèles de bâtis de consolidation

### 2.1.3/ Les poids

Les poids nécessaires pour l'obtention des charges successives d'un essai complet constituent une série. Chaque bâti de consolidation doit avoir sa série complète.

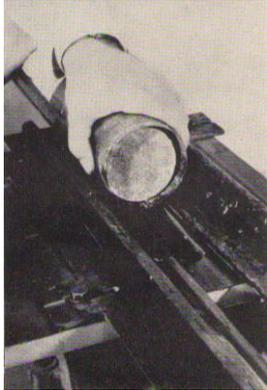
Ce sont des disques plats fendus, permettant leur centrage et leur superposition sur le plateau de charge du bras de levier.



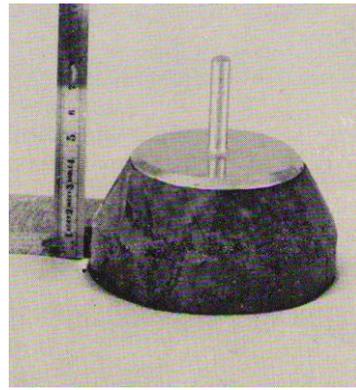
**Figure 8/** Poids

## 2.2/ Appareillage d'usage courant

- Une meule à découper les étuis contenant les carottes de sol (**figure 9**).
- Une balance précise à 0,1 g, de portée 500 g au minimum, pour la mesure des teneurs en eau et des masses volumiques.
- Une étuve à 105 ° C.
- Un calibre donnant le diamètre de l'éprouvette à découper (**figure 10**).
- Cordes à piano, scies à fil, à métaux et à bois, couteaux divers, etc, pour tailler des éprouvettes de consistances variées (**figure 11**).
- Des comparateurs au centième de millimètre ayant une course de 10 mm. Pour les sols très compressibles, des comparateurs de même précision ayant une course de 20 mm, environ.
- Un chronomètre donnant le seconde.
- Un thermomètre.
- Une règle de 100 mm environ, graduée qu demi millimètre.
- Des coupelles tarées pour la mesure des teneurs en eau.
- Du papier filtre.



**Figure 9/** Meule à découper les étuis



**Figure 10/** Calibre de diamètre D = 70 mm



**Figure 11/** Matériel divers pour la taille des éprouvettes

### **3/ PREPARATION DE L'ÉPROUVETTE SOUMISE A L'ESSAI**

#### **3.1/ Extraction de l'échantillon de son étui**

La carotte intacte se présente généralement dans un étui en métal ou en matière plastique rigide. L'étui en métal ou « container », est parfois fendu suivant une génératrice comportant plusieurs points de soudure.

- Repérer le haut et le bas de la carotte, avant l'extraction.
- Si possible, découper le container suivant une génératrice avec une meule (**figure 9**), en évitant d'entamer la carotte.
- Lorsque le container est très long (plus de 800 mm), le découper en deux tronçons avant d'ouvrir une génératrice.
- Eviter de faire sauter brutalement au burin les points de soudure.
- Eviter de chasser l'échantillon par pression, surtout lorsqu'il est peu consistant et colle aux parois, ou lorsqu'il est très compressible. En tout état de cause, chasser la carotte dans le même sens que celui de son introduction dans le container, c'est-à-dire de bas en haut. Dans le cas où une enveloppe intérieure en matière plastique isole la carotte des parois de l'étui, tirer sur l'ensemble enveloppe-carotte.
- Entreprendre rapidement l'essai pour éviter toute dessiccation.

#### **3.2/ Choix de la prise d'essai**

La carotte étant extraite du container, choisir une zone représentative de la carotte d'où sera extraite l'éprouvette d'essai.

- Exclure systématiquement le haut et le bas de la carotte.
- Repérer la position de la zone choisie, à quelques centimètres près, pour la situer sur la coupe de sondage.
- Si la carotte est bien homogène, découper un cylindre ayant 2 à 4 fois la hauteur de l'éprouvette désirée et commencer la taille comme indiqué au paragraphe suivant.
- Si la carotte est constituée de deux ou plusieurs sols différents, effectuer un essai oedométrique par sol, à défaut, un seul sur le sol le plus mauvais.
- Si la carotte contient de petites hétérogénéités visibles, telles que inclusions, veines ou passages, les éviter soigneusement mais les noter sur la feuille de résultats.
- Si la carotte est constituée de petites alternances de deux ou trois sols distincts que se répètent, la considérer comme un sol homogène.
- Si la carotte est très hétérogène, l'essai n'est pas adapté.

### **3.3/ Découpage de l'éprouvette soumise à l'essai**

La description concerne le découpage à la main, dans le cas du moule de Terzaghi.

#### **3.3.1/ Forme de l'éprouvette**

Il s'agit d'obtenir une éprouvette non perturbée par le découpage :

- Cylindrique, aux dimensions exactes du moule oedométrique.
- Ayant ses deux faces bien planes et parallèles.

#### **3.3.2/ Dimensions de l'éprouvette**

Le diamètre, imposé par le moule oedométrique, est  $D = 70 \text{ mm}$ .

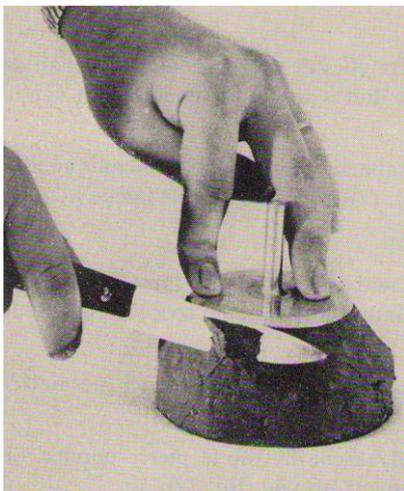
Deux hauteurs sont données par la position de la goupille de blocage : 12 et 24 mm. En règle générale, prendre la hauteur la plus faible car l'importance des frottements latéraux et la durée de l'essai diminuent. (Le temps de consolidation est proportionnel au carré de la hauteur).

Prendre la hauteur de 24 mm lorsque le sol est hétérogène ou lorsqu'il contient quelques gros éléments.

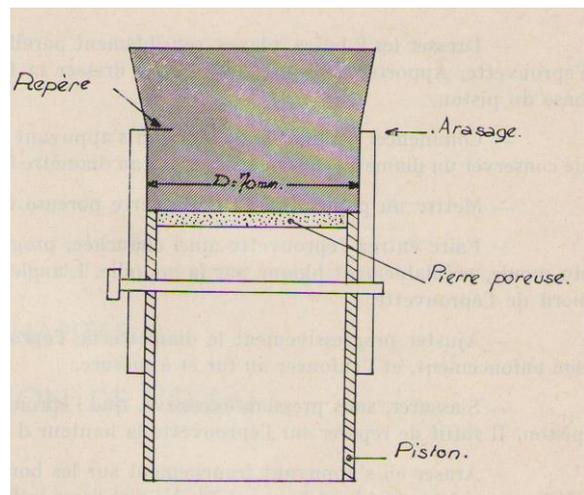
Le moule oedométrique classique n'est plus adapté à l'essai lorsque le sol possède des éléments de dimension supérieure à 5 mm, ou plus de 20 % d'éléments supérieurs à 2 mm. (Ces chiffres ne devant être considérés que comme des ordres de grandeur).

#### **3.3.3/ Découpage et mise en place de l'éprouvette**

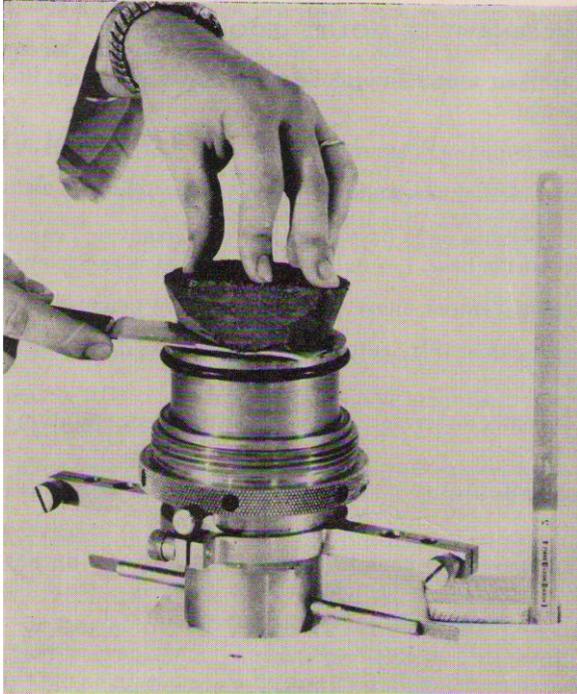
1. Découper le cylindre représentatif de la carotte, sa hauteur étant 2 à 4 fois celle de l'éprouvette d'essai, suivant la consistance du sol et les difficultés de taille.



**Figure 12/** Taille tronconique d'une éprouvette d'essai



**Figure 13/** Repère sur l'éprouvette



**Figure 14/** Arasage de l'éprouvette

2. Dresser les deux bases, planes, sensiblement parallèles entre elles et perpendiculaires à l'axe de l'éprouvette. Apporter un soin particulier à dresser la face qui doit s'appliquer exactement sur la base du piston.
3. Commencer à tailler le cylindre en s'appuyant sur le gabarit, d'une façon tronconique afin de conserver un diamètre toujours supérieur au diamètre final (**figure 12**). Utiliser l'outil le mieux adapté.
4. Mettre un papier filtre sur la pierre poreuse du piston.
5. Faire entrer l'éprouvette ainsi ébauchée, progressivement et sans effort dans le logement du moule, préalablement bloqué par la goupille. L'angle du cylindre doit raboter très légèrement le bord de l'éprouvette.
6. Ajuster progressivement le diamètre de l'éprouvette à celui du logement du moule pour permettre son enfoncement, et l'enfoncer au fur et à mesure.
7. S'assurer, sans pression excessive, que l'éprouvette est au contact de la pierre poreuse du piston. Il suffit de repérer sur l'éprouvette la hauteur d'enfoncement prévue. (**Figure 13**).
8. Araser en s'appuyant franchement sur les bords du cylindre pour obtenir une face plane. Utiliser une lame rigide et bien acérée. Ne pas lisser la face. (**Figure 14**).
9. Déterminer la teneur en eau de l'éprouvette avant essai sur 100 g environ de sol de même nature, prélevés au voisinage de l'éprouvette ou sur les débris de la taille.

#### 3.3.4/ Précautions concernant le moule oedométrique

- Connaître, une fois pour toute, la profondeur exacte du logement du moule, pour les deux positions de la goupille de blocage.
- Avant de goupiller le piston, s'assurer qu'il coulisse librement dans le cylindre.
- S'assurer du bon fonctionnement de l'étanchéité du joint.
- Désaérer la pierre poreuse de la base du moule en versant de l'eau distillée dans le conduit d'eau jusqu'à débordement dans la base. Les bulles d'air sont évacués par un purgeur ou par un succion.
- Laisser tremper dans l'eau la pierre poreuse du piston pendant une demi-heure au moins.
- Toujours mettre un papier filtre entre l'éprouvette et les deux pierres poreuses pour conserver la porosité de celles-ci.
- Avant de visser le collier de serrage, s'assurer par une légère rotation que le cylindre s'appuie bien sur le fond de la base.
- Bien visser le collier de serrage à l'aide des deux broches mais sans écraser au maximum le joint d'étanchéité.
- Bien serrer les comparateurs dans leur support et s'assurer du libre mouvement des palpeurs.

### 4/ EXECUTION DE L'ESSAI

#### 4.1/ Saturation de l'éprouvette

Le moule étant mis sur le bâti de consolidation, l'éprouvette doit être saturée.

- Remplir à ras bord d'eau distillée le tube d'évacuation.
- Remplir le piston creux d'eau distillée jusqu'au niveau du trou de goupille.
- Commencer le chargement de l'éprouvette au bout d'une heure pour les sols moyennement perméables, au bout de 24 heures pour les sols peu perméables.

#### 4.2/ Chargement de l'éprouvette

La charge maximale à appliquer à l'éprouvette dépend de la nature du sol et des charges réelles que l'on veut lui faire supporter in situ. Généralement, il suffira d'appliquer une charge maximale de 8 bars (kg/cm<sup>2</sup>) et éventuellement de 16 bars (si le bâti de consolidation est suffisamment robuste).

##### 4.2.1/ Première charge

Après avoir enlevé la goupille, la première charge à appliquer sera celle qui donne la pression :

- La plus faible entre 0,5 bar et la moitié environ de la pression de préconsolidation supposée, pour un sol normalement consolidé.
- De 0,250 bar pour un sol sous consolidé ou pour une carotte extraite à une profondeur inférieure à 3-4 mètres.
- De 0,050 bar (pression due au piston), pour un sol très compressible.

Poser doucement les poids nécessaires sur le plateau de charge.

Si la pression de préconsolidation est très élevée et l'éprouvette a tendance à gonfler en présence d'eau au départ, empêcher ce gonflement, sauf cas particuliers. Pour cela, maintenir l'équilibre par augmentation progressive des charges jusqu'à l'apparition d'un début de tassement. Noter la pression correspondante puis poursuivre normalement l'augmentation des charges, comme indiqué au paragraphe suivant.

Les lectures des comparateurs s'effectueront aux temps suivants :

0 – 6 s (0,1 mn) – 15 s (0,25 mn) – 30 s (0,5 mn) – 1 mn – 2 mn – 4 mn – 8 mn - 15 mn – 30 mn – 60 mn – 2 h – 4 h – 8 h – 24 h.

L'essentiel est de tenir compte de cette progression des temps et surtout de noter exactement les temps **réels** des lectures. Noter les lectures des comparateurs au centième de millimètre.

Effectuer ces lectures minutées au moins pour un échantillon représentatif de la couche étudiée. Pour les autres échantillons de la même couche, se contenter d'une lecture minutée pour une seule charge, judicieusement choisie et d'une lecture des comparateurs à 24 heures pour les autres charges.

#### 4.2.2/ Charges successives

Appliquer successivement toutes les 24 heures les charges suivantes, les lectures des tassements sous chaque charge étant faites de la même manière que précédemment :

0,25 – 0,5 – 1,0 – 2,0 – 4,0 – 8,0 – 16 bar.

Pour les sols très compressibles, les charges successives pourront être : 0,050 – 0,10 – 0,25 – 0,5 – 1,0 – 2,0 – 4,0 bar.

Charger progressivement et ne jamais enlever un poids pour en mettre un plus lourd, le déchargement instantané risquant de fausser l'essai.

Si on appelle  $\sigma'_1$  et  $\sigma'_2$  deux charges successives, l'essentiel est que la relation ci-après soit vérifiée et non pas que les charges appliquées soient rigoureusement celles indiquées.

$$\frac{\sigma'_2 - \sigma'_1}{\sigma'_1} \sim 1$$

En effet, ou bien il s'agira de poids classiques donnant des pressions dépendant du bras de levier et de la section du moule, ou bien de poids adaptés à l'essai donnant des pressions exactes.

#### 4.2.3/ Déchargement

24 heures après l'application de la dernière charge de 8 ou 16 bars, enlever des poids afin de revenir à une pression de 2 bars, puis de 0,1 bar environ 24 heures plus tard.

En déchargement, faire une seule lecture des comparateurs par 24 heures.

Prendre soin de conserver l'éprouvette submergée pendant toute la durée de l'essai.

Après la dernière lecture à 0,1 bar, enlever rapidement l'éprouvette du moule en la chassant de son logement à l'aide du piston, sécher l'eau de surface avec un papier filtre, peser et placer l'éprouvette dans l'étuve pour la détermination de la teneur en eau  $w_r$  et du poids spécifique sec  $\gamma_d$ .

Briser ensuite l'éprouvette pour apprécier l'existence possible d'hétérogénéités.

### 5/ CALCULS ET RESULTATS

#### 5.1/ Calculs élémentaires

Le meilleur moyen pour suivre les différents calculs, consiste à examiner la feuille de résultats jointe à ce mode opératoire. Quelques indications seulement seront données ici.

La hauteur de solide équivalente ou hauteur des pleins est la quantité, constante au cours de l'essai :

Où

$h_p = \frac{W_s}{\gamma_s \cdot S}$	$W_s =$	Poids sec du solide, obtenu par pesée de l'éprouvette après passage à l'étuve
	$\gamma_s =$	Poids spécifique des grains solides, pris égal à 2,65 g/cm <sup>3</sup> ou mesuré expérimentalement dans les cas particuliers.
	$S =$	Surface du moule.

Soit  $h$ , la hauteur de l'éprouvette à un moment donné. L'indice des vides est alors :

$$e = \frac{h - h_p}{h_p}$$

#### 5.2/ Courbe de compressibilité

La courbe de compressibilité est la courbe  $e - \log \sigma'$ ,  $e$  étant l'indice des vides de l'échantillon correspondant à la pression effective  $\sigma'$ , donc après consolidation.

### 5.2.1/ Indice de compression

La courbe  $e - \log \sigma'$  présente le plus souvent une partie droite horizontale suivie d'une partie courbe, puis à nouveau d'une partie généralement droite et inclinée.

Par définition, l'indice de compression  $C_c$  est la pente de cette droite inclinée.

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta(\log_{10} \sigma')}$$

### 5.2.2/ Indice de décompression

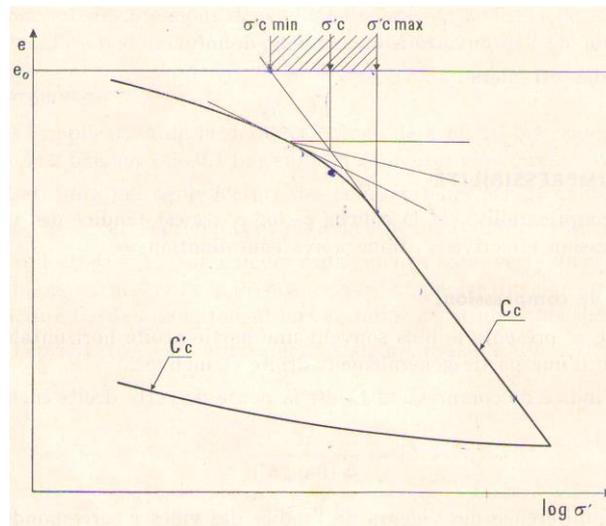
De même, par définition, l'indice de décompression  $C'_c$  sera la pente estimée de la courbe de décompression.

### 5.2.3/ Pression de préconsolidation

La pression de préconsolidation  $\sigma'_c$  est la plus grande pression effective à laquelle a été soumis l'échantillon de sol au cours de son histoire. Si  $\sigma'_c$  correspond à la pression effective  $\sigma'_0$  supportée par le sol en place, le sol est normalement **consolidé**. Un sol est **surconsolidé** si  $\sigma'_c$  est supérieure à  $\sigma'_0$  et **sous-consolidé** si  $\sigma'_c$  est inférieure à  $\sigma'_0$ .

$\sigma'_c$  est estimée de la manière suivante :

- Une valeur minimale  $\sigma'_{c \text{ min}}$  est obtenue en prenant la valeur de la pression correspondant à l'intersection de l'horizontale passant par  $e_0$  et de la partie droite la plus inclinée.
- Une valeur maximale  $\sigma'_{c \text{ max}}$  correspond au point séparant la partie courbe de la partie droite inclinée.
- La pression de préconsolidation  $\sigma'_c$  se trouve à l'intérieur de cette plage.
- Enfin, une valeur probable de  $\sigma'_c$  est obtenue avec la construction dite de **Casagrande**. Du point de courbure maximale de la courbe  $e - \log \sigma'$ , on trace la bissectrice de l'angle formé par la tangente à la courbe et l'horizontale. Cette bissectrice coupe la partie droite de la courbe en un point où la pression est  $\sigma'_c$  (**figure 15**).



**Figure 15/** Courbe de compressibilité et construction de  $\sigma'_c$

## 5.3/ Courbes tassements – temps

### 5.3.1/ Méthodes de construction

#### 1/ Méthode de la racine carrée

On trace, pour une charge donnée, la courbe des lectures au comparateur en fonction de la racine carrée du temps.

La partie droite de la courbe coupe l'axe des ordonnées en un point  $d_c$  qui le zéro corrigé. De ce point, on trace une droite de pente 1,15 fois celle de la partie droite de la courbe. L'intersection avec la courbe donne le point correspondant à 90 % de consolidation primaire (**figure 16**).

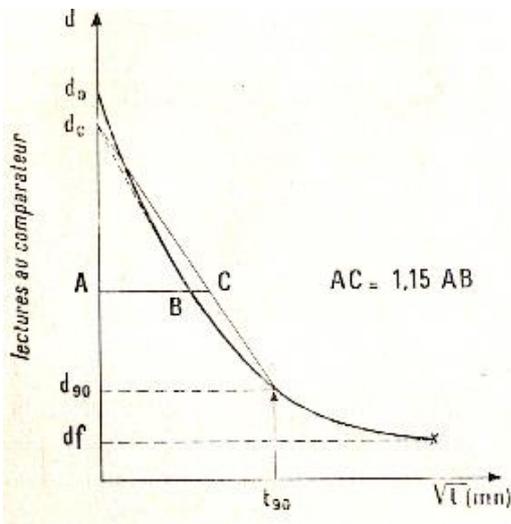


Figure 16/ Méthode de la racine carrée

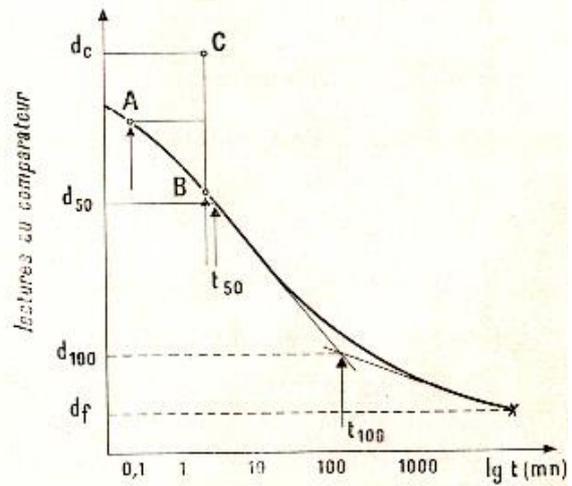


Figure 17/ Méthode du logarithme

2/ Méthode du logarithme

On trace, pour une charge donnée, la courbe des lectures au comparateur en fonction du logarithme du temps. Les deux portions sensiblement droites de la courbe donnent  $d_{100}$ . Pour obtenir le zéro corrigé  $d_c$ , on prend un point A sur la courbe au voisinage de 0,1 mn (temps  $t_A$ ), un point B correspondant à  $4t_A$  et on reporte à partir de B deux fois la distance verticale entre A et B.

La lecture correspondant à 50 % de consolidation est à mi-distance entre  $d_c$  et  $d_{100}$  (figure 17).

5.3.2/ Coefficient de consolidation

Le coefficient de consolidation  $C_v$  est un facteur qui apparaît dans la théorie de consolidation et qui permet de relier le temps de tassement à l'épaisseur de la couche de sol intéressé.

Il est défini par :

$$C_v = \frac{T_v \cdot h^2}{4t}$$

$T_v$  = Facteur temps.

$t$  = Temps nécessaire pour obtenir un pourcentage donné de consolidation primaire.

$T_v$  varie avec le pourcentage de consolidation. I

Le coefficient de consolidation est obtenu, pour une charge donnée :

1/ Par la méthode de la racine carrée :

$$C_v = \frac{0,848 h^2/4}{T_{90}}$$

0,848 =  $T_{90}$  % (facteur temps correspondant à 90 % de consolidation).

2/ Par la méthode du logarithme :

$$C_v = \frac{0,197 h^2/4}{T_{50}}$$

0,197 =  $T_{50}$  % (facteur temps correspondant à 50 % de consolidation).

5.3.3/ Coefficient de perméabilité

La perméabilité du sol peut être obtenue de la façon suivante, pour un état donné du sol, correspondant à un point de la courbe  $e - \log \sigma'$ . Le coefficient  $a_v$  est défini par la théorie de consolidation :

$$a_v = \frac{0,435 C_c}{\sigma'}$$

Avec  $\sigma' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_2}{2}$  Correspondant à l'augmentation de charge de  $\sigma'_1$  à  $\sigma'_2$

Le coefficient de perméabilité est alors :

$$k = \frac{C_v \cdot a_v \cdot \gamma_w}{1 + e}$$

La perméabilité varie sensiblement au cours de l'essai.

5.3.4/ Compression totale

On appelle rapport de compression primaire  $r$ , le rapport du tassement correspondant à la consolidation primaire au tassement total correspondant au temps de l'expérience.

Ce rapport  $r$  donne une idée de l'importance de la compression initiale et de la compression secondaire. Il est obtenu par :

1/ Par la méthode de la racine carrée :

$$r = \frac{10 (d_c - d_{90})}{9 (d_0 - d)}$$

2/ Par la méthode du logarithme :

$$r = \frac{(d_c - d_{100})}{(d_0 - d)}$$

### ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ

Dossier S. GF 12

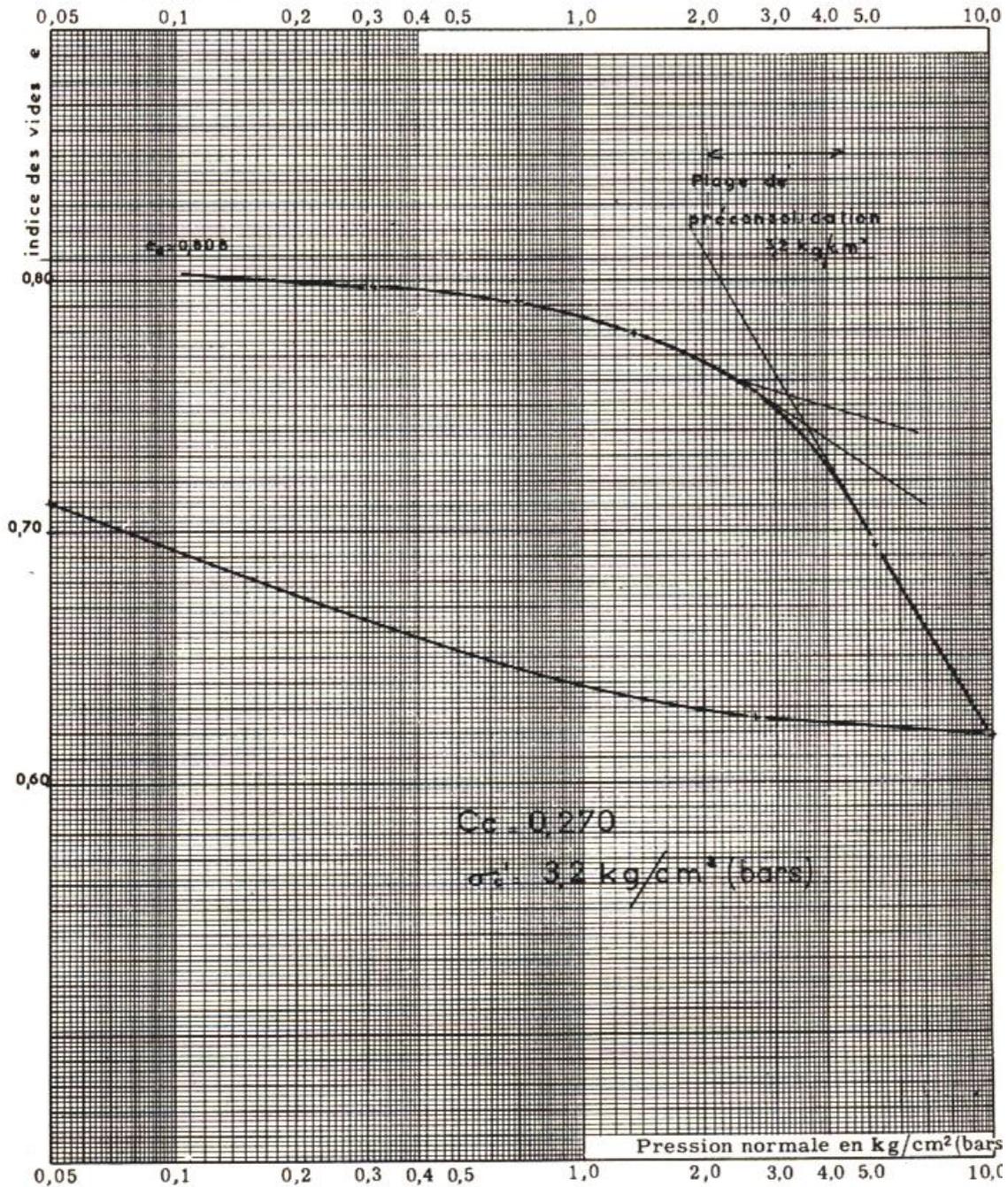
Date : 25 février 1963

Opérateur : Seguen

Provenance : Meudon	Position de l'éprouvette : 13,35 m	Teneurs en eau		Initiale	Finale
Sondage : 1 bis	Section $S = 38,5 \text{ cm}^2$	Pds total humide	160,800	164,800	201,900
Echantillon n° : 3	Hauteur initiale $h_0 = 24 \text{ mm}$	Pds total sec	135,200	136,600	165,200
Profondeur : 13,00 m à 13,60 m	Hauteur des pleins $h_p = \frac{Ws}{G \cdot \gamma_w \cdot S} = 13,27 \text{ mm}$	Pds de la tare	32,200	24,600	26,200
Nature du sol : Limon argileux brun	Poids spécifique du sol sec	Pds de l'eau	25,600	28,200	36,700
Densité des grains $G : 2,72$ (mesuré)	$\gamma_s = \frac{Ws}{S h_0} = 1,50 \text{ g/cm}^3 (1,5 \times 10^3 \text{ dyn/cm}^3)$	Pds sec	103,000	112,000	139,000
$\omega_L = 43$ $I_p = 20$	Petites veines d'argile verte	$\omega \%$	24,8	25,2	26,4
		$\omega$ moyen	25		26,4
		$\omega$ saturation $e/G$	29,7		26,2

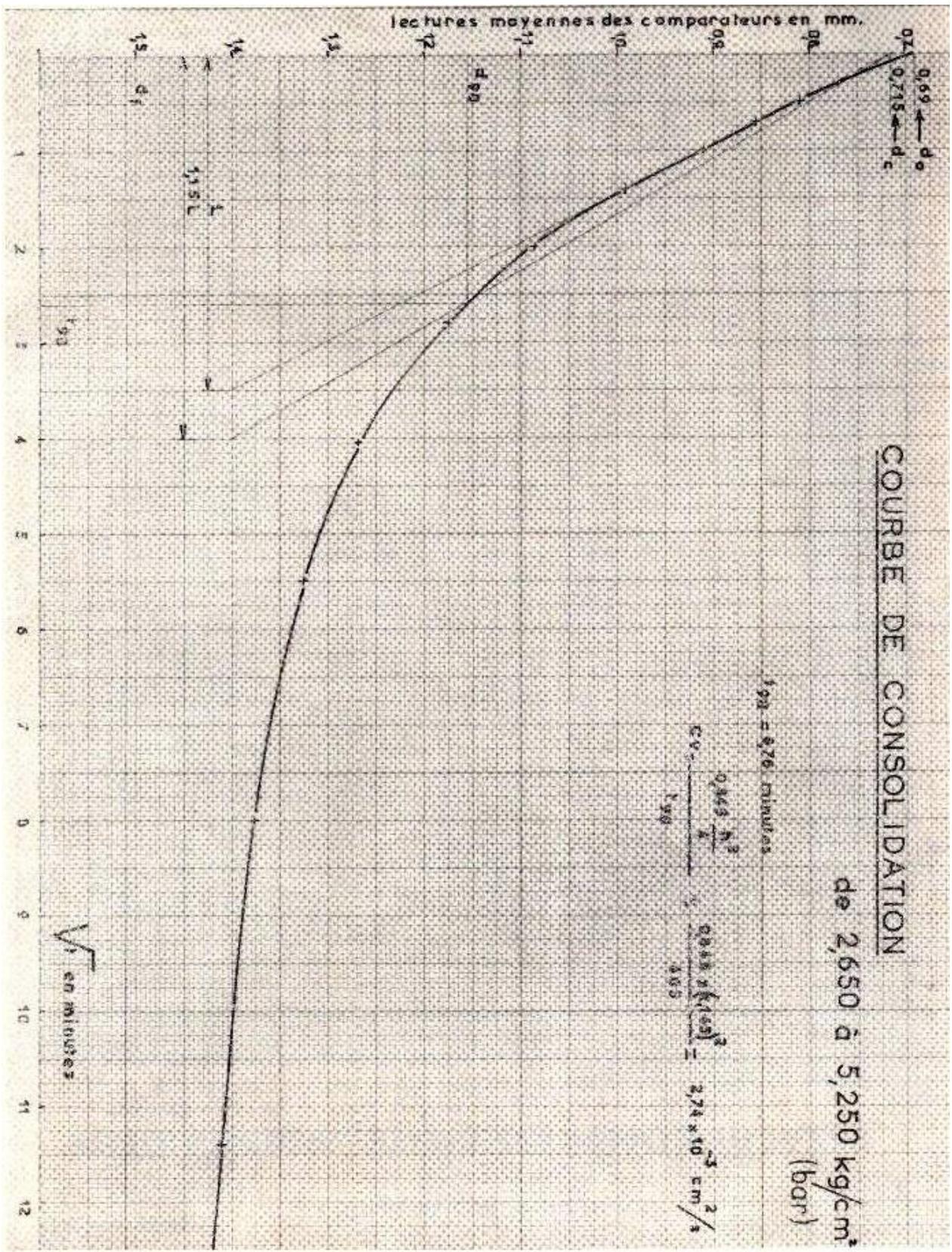
Courbe de Compressibilité					Détermination de $C_V$ (cm <sup>2</sup> /s)				Détermination de $r$		Observations
Charges kgf ou 10 <sup>6</sup> dyn = 10 N	Pressions (bar)	Tassements $\Delta h$ (mm)	Haut. éprouvette $h = h_0 - \Delta h$ (mm)	Indice des vides $e = h/h_p - 1$	$t_{50}$ sec.	$t_{90}$ sec.	$C_V \sqrt{t}$	$C_V \log t$	Courbe $\sqrt{t}$	Courbe $\log t$	
0	0	0	24	0,808							
2	0,310	0,125	23,865	0,798	186	33	$6,5 \times 10^{-3}$	$8,5 \times 10^{-3}$			
5	0,700	0,220	23,780	0,791	160	40	$7,5 \times 10^{-3}$	$7,0 \times 10^{-3}$			
10	1,350	0,380	23,620	0,780	169	34	$6,9 \times 10^{-3}$	$8,1 \times 10^{-3}$			
20	2,650	0,690	23,310	0,756	167	54	$7,0 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-3}$	0,60		
40	5,250	1,510	22,490	0,694	405	168	$2,7 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-3}$	0,60	0,75	
80	10,450	2,520	21,480	0,618	290	120	$3,5 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-3}$	0,72		
20 piston	2,650	2,420	21,580	0,626							
piston	0,050	1,270	22,730	0,712							

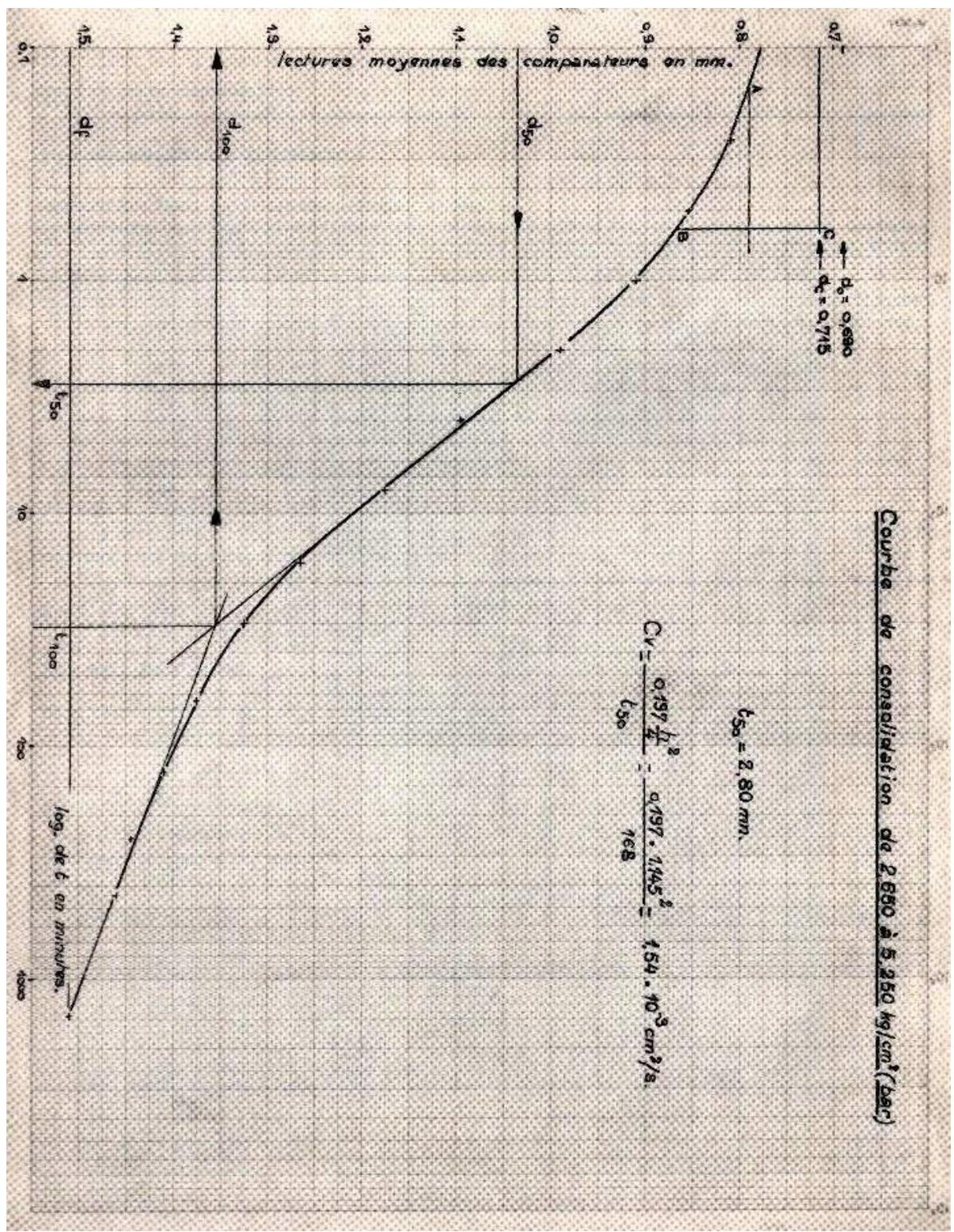
# ESSAI DE COMPRESSIBILITÉ - PERMÉABILITÉ



Dates et heures	Temps (mn)	$\sqrt{t}$	Lectures comparateur gauche (mm)	Lectures comparateur droite (mm)	Lectures moyennes (mm)	
3 mars 1963 9 h 10	0	0	—	—	0,690	
	0,25	0,5	0,820	0,800	0,810	
	0,50	0,7	0,865	0,845	0,855	
	1	1,0	0,920	0,900	0,910	
	2	1,4	0,995	0,985	0,990	
	4	2,0	1,100	1,085	1,095	
	8	2,8	1,180	1,165	1,175	
	9 h 26,5	16,50	4,05	1,275	1,265	1,270
	9 h 40	30	5,5	1,330	1,320	1,325
	10 h 14	64	8,0	1,380	1,370	1,375
11 h 20	130	11,4	1,415	1,400	1,410	
13 h 22	252	15,9	1,440	1,435	1,440	
16 h 30	440	21,0	1,460	1,460	1,460	
4 mars 1963 9 h	1430	37,8	1,505	1,515	1,510	

Température : entre 18 °C et 22 °C.





Courbe de consolidation de 2,680 à 5,250 kg/cm<sup>2</sup> (bar)

# L'essai de perméabilité

**SOURCES**

MODES OPERATOIRES DU LABORATOIRE  
CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES  
SANGLERAT – INTERNET

# L'ESSAI DE PERMEABILITE

## 1/ DEFINITIONS (RAPPELS)

L'eau dans le sol peut se présenter sous trois formes différentes :

- **Eau de constitution** : c'est l'eau de cristallisation. Exemple : gypse ( $\text{SO}_4\text{Ca}_2\text{H}_2\text{O}$ , ou encore appelé plâtre) ;
- **Eau adsorbée** : c'est l'eau de mouillage des grains solides. Elle est fixée à la surface de ceux-ci en formant un film mince ;
- **Eau libre** : contrairement aux cas précédents, pour lesquels l'eau est solidaire des grains solides, l'eau libre remplit les interstices formés par les grains solides et peut y circuler.

### 1.01/ Vitesse de l'eau dans le sol

Soit  $Q$  le débit s'écoulant à travers une section  $S$ . la vitesse apparente  $V$  de l'eau est par définition :  $V = Q/S$ . Cette définition bien que la plus utilisée, donne une vitesse fictive car en réalité l'eau ne circule que dans les pores de surface  $n.S$  ( $n$  étant la porosité du sol, d'une part et d'autre part, les trajectoires sont vraisemblablement tortueuses). On définit la vitesse moyenne  $V'$  par le rapport :  $V' = Q/n.S$ .

### 1.02/ Charge hydraulique

Tous les sols sont plus ou moins perméables. L'eau passe à travers l'argile comme à travers le gravier, mais ce phénomène se manifeste avec des intensités différentes. Les roches dures telles que le granit par exemple, ne sont pas absolument imperméables et se laissent traverser par l'eau et, si leurs surfaces sont souvent sèches, c'est que les phénomènes d'évaporation éliminent plus d'eau que la perméabilité de la roche n'en laisse passer.

Les études portent en général sur les écoulements qui correspondent à des régimes permanents où les particules fluides suivent des trajectoires invariables au cours du temps : les filets liquides appelés aussi **lignes de courant**. Le long d'un filet liquide, la pression et la vitesse de l'eau varient suivant certaines lois.

Dans le cas particulier d'un liquide parfait (incompressible et non visqueux), en mouvement sous la seule action de la pesanteur, le théorème de Bernoulli indique que la quantité :

$$h = \frac{v^2}{2g} + \frac{u}{\gamma_e} + z \text{ reste constante.}$$

$v$ , étant la vitesse de la particule fluide ;  
 $u$ , sa pression ;  
 $z$ , son altitude ;  
 $g$  est l'accélération de la pesanteur ;  
 $\gamma_e$  est la masse volumique du liquide.

Cette quantité qui a la dimension d'une longueur, a reçu le nom de **charge hydraulique**.

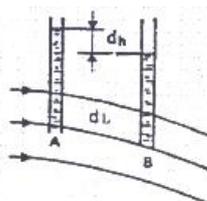
Dans les sols les vitesses d'écoulement sont si faibles (10 cm/s grand maxi) que l'on peut négliger la quantité  $v^2/2g$ . La charge hydraulique en un point quelconque  $M$  du tube de courant s'écrit alors :

$$h_M = \frac{u_M}{\gamma_e} + z_M$$

### 1.03/ Gradient hydraulique

On définit le gradient hydraulique  $i$  entre deux points A et B par le rapport :

$$i = \frac{h_A - h_B}{L}$$



Si A est très voisin de B,

$$i = \frac{dh}{dL}$$

### 1.04/ Loi de Darcy

La loi de Darcy est la loi fondamentale de l'hydraulique des sols. Elle exprime la proportionnalité entre la vitesse de l'écoulement et le gradient hydraulique. C'est une loi expérimentale. Elle s'exprime par l'expression :

$$V = K . i$$

**A noter que :**

1. La loi de Darcy se vérifie en général très bien à condition de rester en régime laminaire, c'est-à-dire quand les vitesses restent faibles.
2. Le coefficient de proportionnalité **K** est appelé **coefficient de perméabilité** du sol. Il s'exprime en **m/s** ou en **cm/s**.
3. L'équation du débit à travers une section **S** de sol, s'écrit alors en fonction de **i** et **K** :

$$Q = K . i . S$$

## 2/ MESURE DE LA PERMEABILITE EN LABORATOIRE

### 2.01/ Principe de la méthode

L'essai consiste à soumettre au laboratoire, des éprouvettes de sols saturés à un écoulement d'eau. L'échantillon de sol est soumis à une charge hydraulique connue, constante ou variable. On mesure alors la différence de hauteur d'eau qui traverse l'échantillon pendant un temps donné.

Les résultats obtenus servent à calculer le coefficient de perméabilité **K** ou coefficient de Darcy qui peut se déterminer suivant deux méthodes : à charge constante ou à charge variable décroissante.

### 2.02/ Matériel nécessaire

- Un perméamètre de compactage avec accessoires ;
- Un panneau de tubes piézométriques à différents diamètres (3, 4 et 6 mm) ;
- Un réservoir d'eau ;
- Une éprouvette graduée ;
- Un chronomètre ;
- Moule Proctor (éventuellement CBR) ;
- Dame Proctor normal ou modifié,
- Règle à araser ;
- Bacs d'homogénéisation pour préparation du matériau ;
- Tamis 5 et 20 mm (contrôle et écrêtage le cas échéant de l'échantillon) ;
- Balance de portée 20 kg avec une précision de  $\pm 5$  g ;
- Balance de précision de portée 200 g avec une précision de  $\pm 0,1$  g ;
- Etuve  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

**Perméamètre**



Le perméamètre peut être du type Proctor ou moule CBR. Son fond et son couvercle (amovibles) sont munis chacun, d'une pierre poreuse et d'un ajutage. L'ajutage du fond permet l'arrivée de l'eau et celui du couvercle, la sortie.

### 2.01/ Principe de la méthode

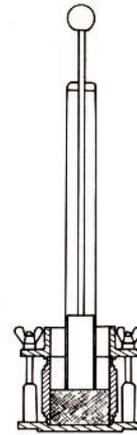
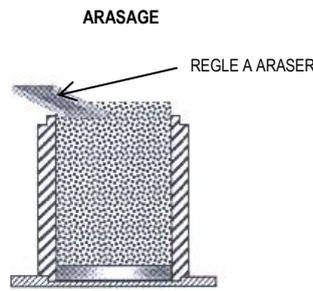
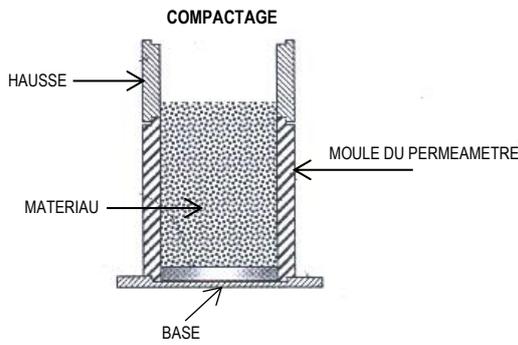
#### 2.01.01/ Préparation de l'échantillon

L'essai se déroule sur un échantillon de sol à l'état naturel (non remanié). Au laboratoire, les matériaux étant rarement dans cet état, il se réalise sur un matériau compacté.

Le compactage devant être fait dans les conditions de l'essai Proctor normal ou modifié, il faut réaliser au préalable l'essai Proctor pour pouvoir connaître la teneur en eau optimale et la densité apparente sèche maximale (voir Essai Proctor).

Connaissant donc la teneur en eau de l'Optimum Proctor  $\omega_{OP}$ , on prépare le matériau de la manière suivante :

1. Le matériau est séché et pulvérisé en brisant les mottes, mais en prenant soin de ne pas briser les pierres et graviers éventuels. Un écrêtage est effectué pour enlever les grains supérieurs à 5 mm (tamisage) ;
2. On ajoute la quantité d'eau nécessaire pour obtenir un matériau à une teneur en eau égale à  $\omega_{OP}$ , on malaxe le matériau humidifié de manière à le rendre homogène et on le met dans le tube du perméamètre monté sur une base et prolongé à sa partie supérieure par une hausse.
3. Après compactage et arasage du matériau dans les conditions de l'essai Proctor (normal ou modifié suivant le cas), la base et la hausse sont remplacées par un fond et un couvercle munis chacun, d'une pierre poreuse et d'un ajutage. Le fond et le couvercle sont fixés au tube au moyen de 2 écrous à oreilles et l'étanchéité entre ces trois parties est réalisée à l'aide de deux joints toriques.



2.01.02/ Perméamètre à charge variable

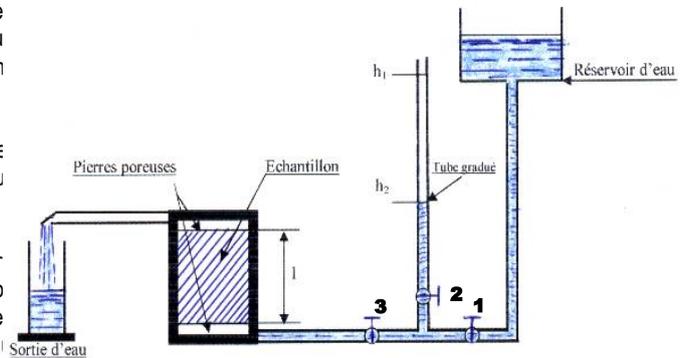
Le fond du perméamètre est raccordé à un tube gradué (tube piézométrique de 1 m de hauteur et de section variable suivant le sol à essayer : (20 cm<sup>2</sup> pour les sols très perméables, 5 mm<sup>2</sup> pour les argiles) et à un réservoir d'eau, placé à un mètre au dessus du bord extérieur du perméamètre.

La circulation de l'eau s'effectue de bas en haut et les retenues d'air dans le circuit sont ainsi évitées.

On commence l'essai après avoir saturé l'échantillon; cette opération dure de quelques minutes pour les sables, à plusieurs jours pour les argile on ouvre les vannes **1** et **3**, la vanne **2** étant fermée, on laisse s'écouler l'eau jusqu'à ce qu'elle sorte par l'ajutage du couvercle, puis on arrête l'écoulement (ferme de la vanne **3**). L'échantillon est alors saturé.

La vanne **3** maintenue fermée, on ouvre la vanne **2** et on remplit le piézométrique jusqu'à une hauteur  $h_1$  voisine de l'extrémité supérieure du et l'on ferme la vanne **1**.

L'essai commence par l'ouverture de la vanne **3** (la vanne **2** r ouverte et la vanne **1**, fermée). On constate alors que le niveau de l'eau b lentement dans le tube piézométrique. On mesure le temps  $t$  nécessaire que le niveau de l'eau descende du niveau  $h_1$  au niveau  $h_2$ , voisin de l'aj de sortie du perméamètre.



On supposera que l'on peut appliquer la loi de Darcy à chaque intervalle de temps  $(t, t+dt)$ . Si  $D$  est le diamètre du moule et  $d$ , le diamètre du tube piézométrique, la section droite de l'échantillon est  $A = \pi D^2/4$  et celle du tube,  $a = \pi d^2/4$ .

$l$  étant la hauteur de l'échantillon, le coefficient de perméabilité ou coefficient de Darcy est donné par l'expression :

$$K = 2,3 \frac{a \cdot l}{A \cdot t} \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \quad \text{et} \quad K = 2,3 \frac{d^2 \cdot l}{D^2 \cdot t} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$$

2.01.03/ Perméamètre à charge constante

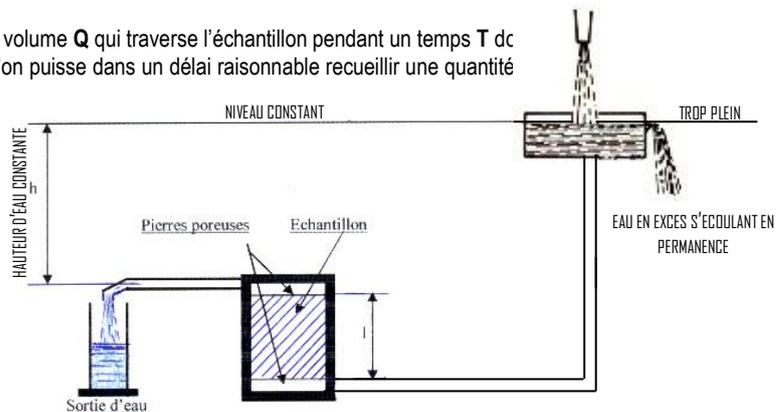
Généralement employé pour les matériaux assez perméable ( $K > 10^{-3}$  cm/s). Le perméamètre à charge variable peut être utilisé, il suffit seulement de déconnecter le tube piézométrique et de maintenir constant le niveau de l'eau dans le réservoir (alimentation permanente du réservoir muni d'un trop plein). Le gradient hydraulique  $i = h/l$  est constant.

Pour déterminer la vitesse de décharge, on mesure le volume  $Q$  qui traverse l'échantillon pendant un temps  $T$  dc faut toutefois que le matériau soit assez perméable pour que l'on puisse dans un délai raisonnable recueillir une quantité suffisante pour assurer une mesure de débit correcte.

Le coefficient de perméabilité  $K$  est obtenu par l'expression suivante :

$$K = \frac{Q \cdot l}{A \cdot T \cdot h}$$

- $A$  = section droite de l'échantillon ;
- $l$  = hauteur de l'échantillon ;
- $Q$  = volume d'eau ayant traversé l'échantillon en un temps  $T$



Les essais de pompage permettent de déterminer in situ, la perméabilité des couches de sable ou de gravier situées sous la nappe phréatique. Cette méthode a l'avantage de fournir un coefficient de perméabilité moyen de toute la zone intéressée par le pompage.

2.01.04/ Interprétation des résultats

K (cm/s)	10	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>
DRAINAGE	Bon					Mauvais		Pratiquement imperméable			
TYPE DE SOL	Gravillon	Sable			Silt et mélange - Sable et argile				Argiles		
TRAVAUX DE GENIE CIVIL	Zones perméables					Zones imperméables					

# L'essai au bleu de méthylène

## SOURCES

MODES OPERATOIRES DU LABORATOIRE  
CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES  
SANGLERAT – INTERNET

## **1 Domaine d'application**

La présente partie de norme européenne décrit une méthode d'essai permettant de déterminer la valeur de bleu de méthylène de la fraction 0/2 mm dans les sables ou le tout-venant (MB). Un mode opératoire pour la détermination de la valeur de bleu de méthylène sur la fraction 0/0,125 mm (MB<sub>F</sub>) est décrit dans l'annexe A.

## **2 Références normatives**

Cette norme européenne comporte par référence datée ou non datée des dispositions d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à cette norme européenne que s'ils y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique.

prEN 932-2, Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats — Partie 2 : Méthodes de réduction d'un échantillon de laboratoire.

prEN 932-5, Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats — Partie 5 : Équipement commun et étalonnage.

## **3 Termes et définitions**

Pour les besoins de la présente Norme Européenne, les définitions suivantes s'appliquent.

### 3.1 sous-échantillon de laboratoire

Échantillon obtenu selon une procédure de réduction de l'échantillon

### 3.2 prise d'essai

Échantillon utilisé dans sa totalité pour un seul essai

### 3.3 fines

Fraction granulométrique d'un granulat passant au tamis de 0,063 mm

### 3.4 Granulat élémentaire

Partie d'un granulat passant à travers le plus grand de deux tamis et retenue sur le plus petit

NOTE La limite inférieure peut être zéro.

### 3.5 Masse constante

Masse obtenue après séchage et pesées successives espacées d'au moins 1 h ne différant pas de plus de 0,1 %

NOTE Dans de nombreux cas, la masse constante peut être obtenue après séchage d'une prise d'essai en étuve à (110 ± 5) °C pendant une période prédéterminée. Des essais en laboratoire peuvent déterminer le temps nécessaire pour obtenir la masse constante pour des échantillons de tailles et de types variés selon la capacité de séchage de l'étuve utilisée.

## **4 Principe**

Des doses d'une solution de bleu de méthylène sont ajoutées successivement à une suspension de la prise d'essai dans l'eau. L'adsorption de la solution colorée par la prise d'essai est vérifiée après chaque addition de solution en effectuant un test à la tache sur du papier filtre pour déceler la présence de colorant libre.

Lorsque la présence de colorant libre est confirmée, la valeur de bleu de méthylène (MB ou MB<sub>F</sub>) est calculée et exprimée en grammes de colorant adsorbé par kg de la fraction granulaire testée.

NOTE Une vérification de conformité en injectant en une seule fois la quantité spécifiée de bleu de méthylène peut être utilisée comme étape d'un procédé de contrôle de production et est décrite en annexe B.

## **5 réactive**

5.1 Solution colorée de bleu de méthylène de qualité ordinaire ou technique à (10 ± 0,1) g/l (voir annexe C).

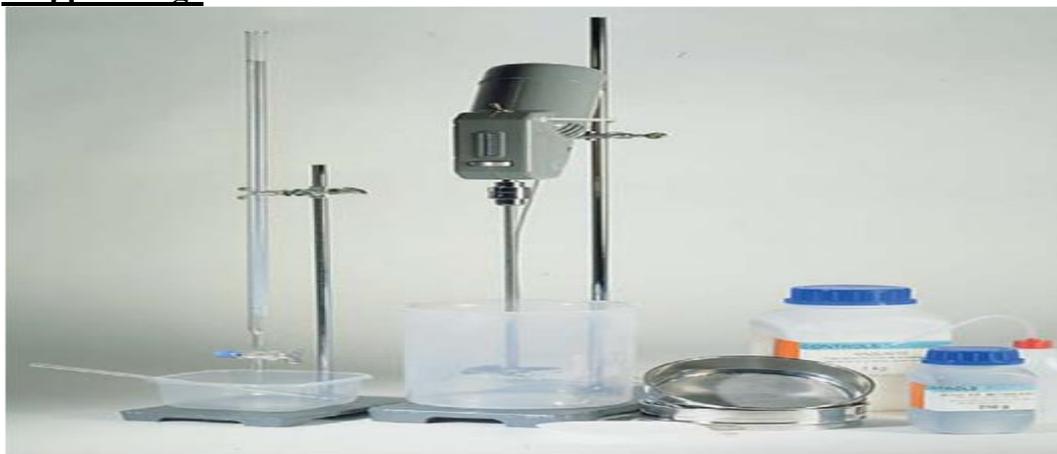
La durée maximale d'utilisation de la solution doit être de 28 jours. Elle doit être conservée à l'abri de la lumière.

5.2 Eau déminéralisée ou distillée.

5.3 Kaolinite, de valeur de bleu de méthylène connue (MB<sub>K</sub>) (voir annexe D).

NOTE Il y a lieu d'utiliser une kaolinite de valeur de bleu connue entre 1 g et 2 g pour 100 g de kaolinite pour éviter une utilisation trop importante de colorant.

## **6 Appareillage**



Tous les appareils doivent être conformes aux prescriptions générales du prEN 932-5.

6.1 Burette, d'une capacité de 100 ml ou de 50 ml et graduée en 1/10 ml ou 1/5 ml ou deux micro-pipettes, de 5 ml et 2 ml.

6.2 Papier-filtre, quantitatif et sans cendres (< 0,010 %) ; 95 g/m<sup>2</sup> ; épaisseur 0,20 mm ; vitesse de filtration :

75 secondes ; taille des pores : 8 μm.

6.3 Tige de verre, longueur : 300 mm ; diamètre : 8 mm.

6.4 Agitateur à ailettes, capable de vitesses de rotation contrôlées variables pouvant atteindre (600 ± 60) tr/min avec 3 ou 4 ailettes de (75 ± 10) mm de diamètre.

NOTE D'autres types d'agitateurs peuvent être utilisés s'il peut être prouvé que les résultats obtenus sont corrélés avec les résultats produits lors de l'utilisation d'un agitateur comme spécifié ci-dessus.

6.5 Balance, précise à 0,1 % de la masse de la prise d'essai.

6.6 Chronomètre, gradué en secondes.

6.7 Tamis, avec des ouvertures de 2 mm avec tamis de protection (si nécessaire).

6.8 Bécher, en verre ou en plastique, d'une capacité d'environ 1 l à 2 l.

6.9 Fiole en verre d'une capacité de 1 l.

6.10 Étuve ventilée, thermostatée pour maintenir une température de (110 ± 5) °C.

6.11 Thermomètre gradué en degré Celsius.

## 6.12 Spatule.

## 6.13 Dessiccateur.

### **7 Préparation des prises d'essai**

Les échantillons de laboratoire doivent être réduits conformément au prEN 932-2 pour obtenir un sous-échantillon contenant au moins 200 g de la fraction 0/2 mm.

Sécher le sous-échantillon à  $(110 \pm 5)$  °C jusqu'à masse constante et le laisser refroidir.

Passer le sous-échantillon séché au tamis de 2 mm, muni le cas échéant, du tamis de protection et utiliser une brosse à tamis pour s'assurer de la séparation et de la récupération de toutes les particules de la fraction 0/2 mm.

Éliminer toutes les particules retenues au tamis de 2 mm et, si nécessaire, réduire la fraction passant au tamis de 2 mm conformément au prEN 932-2 pour obtenir une prise d'essai d'une masse d'au moins 200 g. La masse de la prise doit dépasser 200 g mais pas d'une valeur exacte prédéterminée.

Peser la prise d'essai et noter la masse au gramme près ( $M_1$ ).

### **8 Mode opératoire**

#### 8.1 Description du test à la tache

Après chaque injection de colorant, le test à la tache consiste à prélever à l'aide de la tige de verre une goutte de la suspension et de la déposer sur le papier filtre. La tache qui se forme est composée d'un dépôt central de matériau, en général d'une couleur bleue foncée, entouré d'une zone humide incolore.

La quantité de suspension prélevée par la goutte doit permettre d'obtenir un dépôt dont le diamètre est compris entre 8 mm et 12 mm.

Le test est considéré comme positif si, dans la zone humide, une auréole bleu clair persistante d'environ 1 mm apparaît autour du dépôt central.

NOTE L'auréole sera visible à l'approche du point final mais peut disparaître à nouveau, en raison du temps nécessaire aux matériaux argileux pour adsorber complètement le colorant. C'est la raison pour laquelle le point final doit être confirmé en répétant le test à la tache toutes les minutes pendant 5 min sans ajout de solution de colorant.

#### 8.2 Préparation de la suspension

Verser (500 ± 5) ml d'eau distillée ou d'eau déminéralisée dans le bécher et ajouter la prise d'essai séchée en remuant bien avec la spatule.

Agiter la solution de colorant (voir 5.1) ou bien la mélanger uniformément. Remplir la burette de solution colorée et placer la solution restante dans un endroit sombre.

Régler l'agitateur sur la vitesse de 600 tr/min et positionner les ailettes à environ 10 mm du fond du bécher.

Mettre en marche l'agitateur et déclencher le chronomètre, agiter le contenu du bécher pendant 5 min à  $(600 \pm 60)$  tr/min, puis (voir 8.3) agiter continuellement à  $(400 \pm 40)$  tr/min pendant la poursuite de l'essai.

Si la quantité de fines présentes dans la prise d'essai ne permet pas d'obtenir une auréole, il convient d'ajouter la kaolinite avec un supplément de solution colorée, comme suit :

— ajouter dans le bécher (30,0 ± 0,1) g de kaolinite (5.3), séchée à  $(110 \pm 5)$  °C à masse constante ;

— ajouter  $V'$  ml de solution colorée dans le bécher où  $V' = 30 \frac{MB_K}{K}$ , est le volume de solution colorée adsorbée par 30 g de kaolinite.

#### 8.3 Détermination de la quantité de colorant adsorbée

Poser le papier-filtre (6.2) sur le dessus d'un bécher, ou d'un autre support approprié, de façon à ce que la plus grande partie de sa surface ne soit pas en contact avec du solide ou du liquide.

Après une agitation de 5 min à  $(600 \pm 60)$  tr/min, introduire dans le bécher une dose de 5 ml de solution de colorant (voir 5.1) ; agiter à  $(400 \pm 40)$  tr/min pendant au moins 1 min et effectuer un test à la tache sur le papier filtre (voir 8.1). Si après l'ajout des premiers 5 ml de solution de colorant l'auréole n'apparaît pas,

effectuer une autre addition de 5 ml de solution de colorant, continuer à agiter pendant 1 min, et faire un autre test à la tache. Si aucune auréole n'est visible, continuer à agiter, en alternant les ajouts de colorants et les périodes de mélange jusqu'à apparition d'une auréole. Lorsque ce stade est atteint, continuer à agiter et sans autre ajout de solution de colorant, effectuer des tests à la tache toutes les minutes.

Si l'auréole disparaît durant les quatre premières minutes, ajouter une autre dose de 5 ml de solution de colorant. Si l'auréole disparaît à la cinquième minute, ajouter seulement 2 ml de solution de colorant. Dans tous les cas, continuer l'agitation et les tests à la tache jusqu'à ce qu'une auréole reste visible pendant 5 min.

Enregistrer le volume total de solution de colorant,  $V_1$ , ajouté pour obtenir une auréole qui est restée visible pendant 5 min, à 1 ml près.

NOTE Il convient de nettoyer les récipients précautionneusement avec de l'eau dès que les essais sont finis. Il convient d'éliminer toutes les traces de détergent utilisé pour nettoyer par un rinçage soigneux. Il est recommandé que les récipients utilisés pour l'essai au bleu de méthylène soient réservés spécifiquement à cet essai.

### **9 Calcul et expression des résultats**

La valeur de bleu de méthylène, MB, exprimée en grammes de colorant par kilogramme de fraction 0/2 mm est obtenue à l'aide de l'équation suivante :

$$MB = \frac{V_1}{M_1} 100$$

où :

$M_1$  est la masse de la prise d'essai, en grammes ;

$V_1$  est le volume total de solution de colorant injectée, en millilitres.

Enregistrer la valeur MB à 0,1 g près de colorant par kilogramme de fraction 0/2 mm. Si l'essai est effectué avec ajout de kaolinite, l'équation indiquée plus haut devient :

$$MB = \frac{V-V_1}{M_1} 100$$

où :

$V'$  est le volume de la solution de colorant adsorbée par la kaolinite, en millilitres.

NOTE . Le facteur 10 dans les équations ci-dessus convertit le volume de solution colorée utilisée en masse de colorant adsorbée par kg de la fraction granulaire testée.

### **10 Rapport d'essai**

Le rapport d'essai doit contenir les informations indiquées en 10.1 et peut inclure celles indiquées en 10.2.

#### 10.1 Informations obligatoires

- a) La référence de la présente norme européenne ;
- b) l'identité du laboratoire ;
- c) l'identification de l'échantillon ;
- d) description du matériau testé ;
- e) la valeur MB ;
- f) date de réception de l'échantillon ;
- g) certificat d'échantillonnage, si disponible.

#### 10.2 Informations facultatives

- a) nom et lieu de l'origine de l'échantillon ;
- b) description de la procédure de réduction de l'échantillon ;
- c) date de l'essai.

**Annexe**  
(Normative)

Mode opératoire pour la détermination  
de la valeur de bleu de méthylène sur la fraction 0/0,125 mm (MB<sub>F</sub>)

- A.1 Préparer les prises d'essai comme indiqué dans l'article 7 et suivre le mode opératoire de l'article 8, mais avec une prise d'essai de masse M<sub>1</sub> de (30 ± 0,1) g sur la fraction 0/0,125 mm.
- A.2 Calculer la valeur de bleu de méthylène (MB<sub>F</sub>) en grammes de colorant par kg de fraction 0/0,125 mm suivant :
- où :
- M<sub>1</sub> est la masse de la prise d'essai, en grammes ;
- V<sub>1</sub> est le volume total de solution colorée ajoutée, en millilitres.
- A.3 Noter la valeur de MB<sub>F</sub> à 0,1 g près de colorant par kg de fraction 0/0,125 mm.
- A.4 Les rapports d'essais devront mentionner les informations appropriées en accord avec l'article 10.
- Exemple préparé dans laboratoire de ALTRO :

**ESSAI POUR LA DETERMINATION  
DE LA VALEUR AU BLEU DE METHYLENE ( MB ) : EN 933-9.**

**Masse sèche de la prise d'essai de fraction 0/2 mm** **M1= 212.0 g**

**% des éléments inférieur à 0,08 mm de la fraction 0/2 mm** **F = 17 %**

**% de la fraction 0/2 dans la grave 0/D ( ou dans le 0/50 de la grave)** **%  
0/2= - %**

**Volume de solution absorbée par la kaolinite ( si utilisée ).** **V' = / ml**

**Quantité totale de colorant ajoutée.** **V = 10 ml**

Valeur MB, exprimée en gramme de colorant  
par  
kg de grains

<b>MB = 0.47</b>
------------------

**Observation:**

Conforme