

Calcul de la perméabilité par des essais d'eau dans les sondages en alluvions

Autor(en): **Gilg, B. / Gavard, M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **83 (1957)**

Heft 4

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-62772>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les quinze jours

Tarif des annonces

1/1 page	Fr. 275.—
1/2 »	» 140.—
1/4 »	» 70.—
1/8 »	» 35.—

Annonces Suisses S. A.
(ASSA)



Place Bel-Air 2. Tél. 22 33 26
Lausanne et succursales

Abonnements :
Suisse : 1 an, 26 francs
Etranger : 30 francs
Pour sociétaires :
Suisse : 1 an, 22 francs
Etranger : 27 francs
Prix du numéro : Fr. 1.60
Ch. post. « Bulletin technique de la Suisse romande »
N° II. 57 75, à Lausanne.

Adresser toutes communications concernant abonnements, changements d'adresse, expédition à
Imprimerie La Concorde,
Terreaux 31, Lausanne

Rédaction
et éditions de la S. A. du
Bulletin technique (tirés à
part), Case Chauderon 475
Administration de la S. A.
du Bulletin Technique
Ch. de Roseneck 6 Lausanne

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale

Comité de patronage — Président : J. Calame, ingénieur, à Genève ; Vice-président : G. Epitoux, architecte, à Lausanne — Membres : Fribourg : MM. H. Gicot, ingénieur ; M. Waeber, architecte — Vaud : MM. A. Gardel, ingénieur ; A. Chevalley, ingénieur ; E. d'Okolski, architecte ; Ch. Thévenaz, architecte — Genève : MM. Cl. Groscurin, architecte ; E. Martin, architecte — Neuchâtel : MM. J. Béguin, architecte ; R. Guye, ingénieur — Valais : MM. G. de Kalbermatten, ingénieur ; D. Burgener, architecte.

Rédaction : D. Bonnard, ingénieur. Case postale Chauderon 475, Lausanne.

Conseil d'administration
de la Société anonyme du Bulletin technique : A. Stucky, ingénieur, président ;
M. Bridel ; G. Epitoux, architecte ; R. Neeser, ingénieur.

SOMMAIRE : *Calcul de la perméabilité par des essais d'eau dans les sondages en alluvions*, par B. GILG et M. GAVARD, ingénieurs, Electro-Watt S. A., Zurich. — *Sur de nouvelles méthodes de calcul en topographie*, par A. ANSERMET, ingénieur, professeur à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne. — **DIVERS :** *La mise en service de l'usine de Rheinau*. — **CORRESPONDANCE :** *Quelques aspects de la construction des ponts à Genève*. — Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne : *Diplômes*. — **BIBLIOGRAPHIE**. — **COMMUNIQUÉ :** *Stages européens pour les cadres*. — **CARNET DES CONCOURS**. — **SERVICE DE PLACEMENT** — **DOCUMENTATION GÉNÉRALE**. — **DOCUMENTATION DU BATIMENT**.

CALCUL DE LA PERMÉABILITÉ

PAR DES ESSAIS D'EAU DANS LES SONDRAGES EN ALLUVIONS

par B. GILG et M. GAVARD, ingénieurs, Electro-Watt S. A., Zurich

1. Introduction

Le grand développement de la construction des digues rend la connaissance de la perméabilité des terrains alluviaux extrêmement importante. Cette perméabilité s'exprime selon la loi de Darcy, par le coefficient k qui représente une vitesse spécifique, dépendant avant tout de la granulométrie et de l'origine des dépôts.

Comme les terrains alluviaux ne présentent pas, la plupart du temps, une structure homogène en dehors d'un domaine relativement restreint, il est avantageux de pouvoir déterminer la perméabilité des différentes couches et zones à l'aide de sondages isolés.

On exécute pour cela deux sortes d'essais :

a) L'essai à niveau constant

Dans un sondage dans lequel on a préalablement repéré le niveau d'eau non perturbé, on injecte ou pompe de l'eau jusqu'à l'obtention d'un régime stationnaire caractérisé par un nouveau niveau et un débit injecté ou pompé constant.

b) L'essai d'abaissement

Le niveau ayant été initialement élevé par un apport d'eau, on en mesure l'abaissement en fonction du temps, ce qui est assez simple à réaliser sur un chantier.

La première méthode donne évidemment des résultats plus précis que la seconde dans les cas de sols très perméables ($k \geq 10^{-2}$ cm/sec).

La loi de Darcy s'écrit :

$$\varphi = k J \quad \text{où } \varphi = \text{vitesse d'écoulement } \left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}} \right)$$

$$J = \text{perte de charge unitaire} \quad (1)$$

$$k = \text{coefficient de Darcy } \left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}} \right)$$

$$J = - \frac{dh}{ds} \quad \text{où } dh = \text{différentielle du niveau d'eau} \quad (\gamma_{\text{eau}} = 1)$$

$$ds = \text{différentielle de la trajectoire d'une particule dans le sens du courant} \quad (2)$$

$$\varphi = - k \frac{dh}{ds} \quad (3)$$

2. Formules simplifiées

Ces formules considèrent trois cas différents :

- a) Le tube du sondage est maintenu à la profondeur atteinte, on admet que les surfaces équipotentielles sont des sphères centrées sur l'extrémité du tuyau qui constitue l'orifice de l'écoulement ; c'est l'essai ponctuel.
- b) Le tuyau ayant atteint la couche imperméable est remonté d'une longueur L et remplacé par un filtre sur cette longueur, on suppose que les équipotentielles sont des cylindres.
- c) Lorsque l'extrémité du sondage n'atteint pas la couche imperméable et que l'on remplace une longueur L par un tuyau filtrant, on superpose le débit d'un cylindre et celui d'une demi-sphère (fig. 1).

Essai à niveau constant

Cas a)

$$k = \frac{1}{2\pi\Phi} \cdot \frac{Q}{h_m}$$

Essai d'abaissement

(4)

$$k = \frac{\Phi}{8\Delta t} \cdot \frac{\Delta h}{h_m}$$

Cas b)

$$k = \frac{\text{Log} \frac{2R}{\Phi}}{2\pi L} \cdot \frac{Q}{h_m}$$

(5)

$$k = \frac{\text{Log} \frac{2R}{\Phi} \cdot d^2}{8 L \Delta t} \cdot \frac{\Delta h}{h_m}$$

Cas c)

$$k = \frac{1}{\pi \left[\frac{2L}{\text{Log} \frac{2R}{\Phi}} + \Phi \right]} \cdot \frac{Q}{h_m}$$

(6)

$$k = \frac{d^2}{4\Delta t \left[\frac{2L}{\text{Log} \frac{2R}{\Phi}} + \Phi \right]} \cdot \frac{\Delta h}{h_m}$$

On prend pratiquement $\frac{2R}{\Phi} = 500$ donc $\text{Log} \frac{2R}{\Phi} = 6,2$.

Ces formules reposant partiellement sur des hypothèses arbitraires, nous avons cherché une méthode de calcul plus rigoureuse.

3. Méthode analytique

On admet que l'écoulement est à potentiel de vitesse ; en outre, il a une symétrie axiale dont l'axe est confondu avec celui du forage, les vitesses n'ont donc pas de composantes tangentielles (fig. 2).

L'équation différentielle de l'écoulement potentiel à symétrie axiale s'écrit :

$$\frac{\delta^2 \varphi}{\delta x^2} + \frac{1}{x} \frac{\delta \varphi}{\delta x} + \frac{\delta^2 \varphi}{\delta z^2} = 0 \quad (7)$$

Il s'agit de trouver des solutions de cette équation qui satisfont aux conditions aux limites du cas étudié.

La solution générale de l'équation (7) est donnée par M. le Dr ing. Günther Nahrang¹.

$$\varphi = [B_1 J_0(\lambda x) + B_2 Y_0(\lambda x)] (A_1 e^{\lambda z} + A_2 e^{-\lambda z}) \quad (8)$$

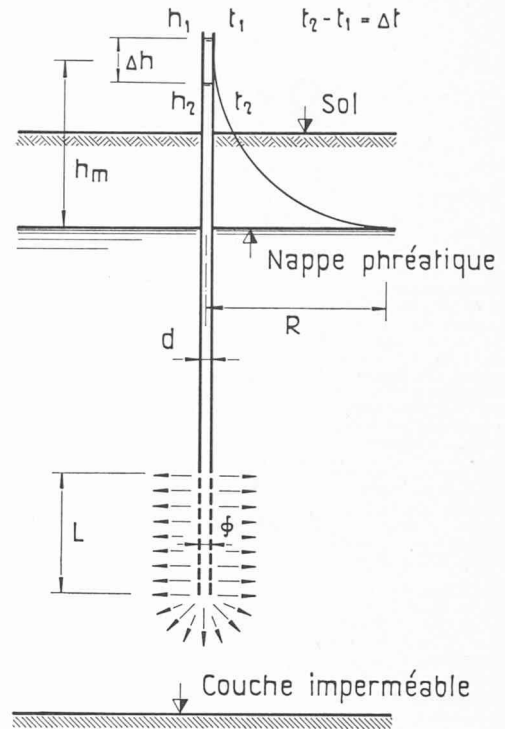


Fig. 1.

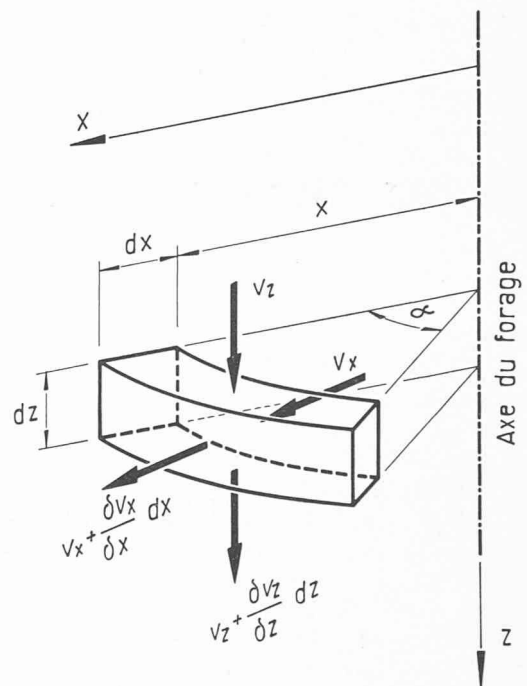


Fig. 2.

où $J_0(\lambda x)$ et $Y_0(\lambda x)$ sont respectivement des fonctions de Bessel et de Neumann d'ordre nul et A_1, A_2, B_1, B_2 et λ sont des constantes à déterminer par les conditions aux limites.

Pratiquement, on s'aperçoit qu'il est très compliqué de résoudre un cas concret car les conditions aux limites s'introduisent difficilement.

4. Méthode graphique

On peut songer à résoudre le problème graphiquement. En désignant par Δn un élément de ligne potentielle et par Δs un élément de ligne de courant (fig. 3),

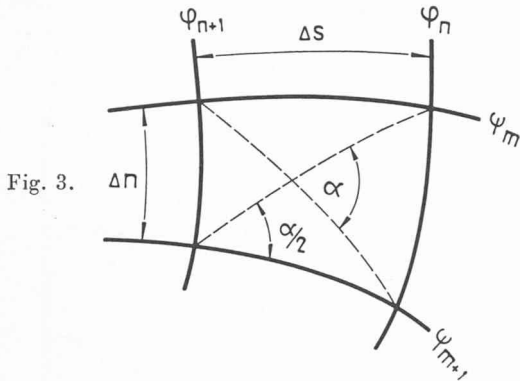


Fig. 3.

si d'autre part l'angle au centre de la région intéressée par l'écoulement est 2π , ce qui est presque toujours le cas, on peut montrer que les deux conditions de la construction d'un réseau se résument à ¹:

$$\frac{\Delta s}{\Delta n} = 2\pi x \tag{9}$$

$$\alpha = 2 \text{Arctg} \frac{1}{2\pi x} \tag{10}$$

outre les conditions aux limites et la condition d'orthogonalité des lignes potentielles et des lignes de courant.

Si la méthode graphique est applicable aux écoulements plans où les grandeurs $\frac{\Delta s}{\Delta n}$ et α sont des constantes, elle devient vite inextricable pour un écoulement à symétrie axiale où ces grandeurs varient avec la distance à l'axe du puits.

5. Méthode de relaxation

C'est pourquoi on a finalement recouru à la méthode consistant à résoudre l'équation (7) par différences finies. Cette équation s'écrit alors :

$$\frac{\Delta^2 \phi}{\Delta x^2} + \frac{1}{x} \cdot \frac{\Delta \phi}{\Delta x} + \frac{\Delta^2 \phi}{\Delta z^2} = 0 \tag{11}$$

Dans la figure 4, m, l, r, o, u représentent la valeur de la fonction ϕ aux points correspondants. Pour ne pas multiplier le nombre d'équations, on a choisi des « astres » de branches inégales, les différents termes de l'équation (11) s'écrivent par conséquent de la manière suivante :

$$\frac{\Delta \phi}{\Delta x} = \frac{l - r}{\Delta l + \Delta r} \tag{12}$$

$$\frac{\Delta^2 \phi}{\Delta x^2} = \frac{\Delta x_l \cdot m \Delta x_m \cdot r}{\frac{\Delta l}{2} + \frac{\Delta r}{2}} = \frac{\Delta l - m \Delta r}{\frac{\Delta l + \Delta r}{2}} = 2 \cdot \frac{l \Delta r - m(\Delta l + \Delta r) + r \Delta l}{\Delta l \Delta r (\Delta l + \Delta r)} \tag{13}$$

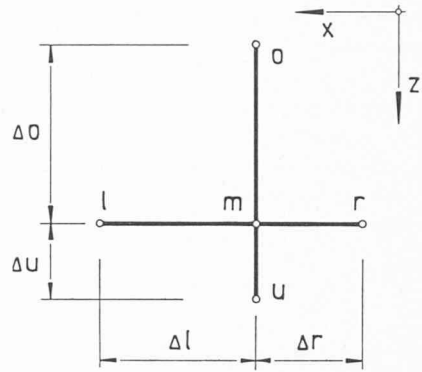


Fig. 4.

$$\frac{\Delta^2 \phi}{\Delta z^2} = -2 \cdot \frac{u \Delta o - m(\Delta u + \Delta o) + o \Delta u}{\Delta u \Delta o (\Delta u + \Delta o)} \tag{14}$$

En substituant les deuxièmes membres de ces équations dans l'équation (11), on obtient après simplification :

$$\begin{aligned} & l(\Delta u + \Delta o) \left(\frac{1}{\Delta l} + \frac{1}{2x} \right) + r(\Delta u + \Delta o) \left(\frac{1}{\Delta r} - \frac{1}{2x} \right) + \\ & + u(\Delta l + \Delta r) \frac{1}{\Delta u} + o(\Delta l + \Delta r) \frac{1}{\Delta o} - \\ & - m \left[(\Delta u + \Delta o) \left(\frac{1}{\Delta l} + \frac{1}{\Delta r} \right) + (\Delta l + \Delta r) \left(\frac{1}{\Delta u} + \frac{1}{\Delta o} \right) \right] = 0 \end{aligned} \tag{15}$$

On a choisi 29 points inconnus disposés selon le schéma de la figure 5.

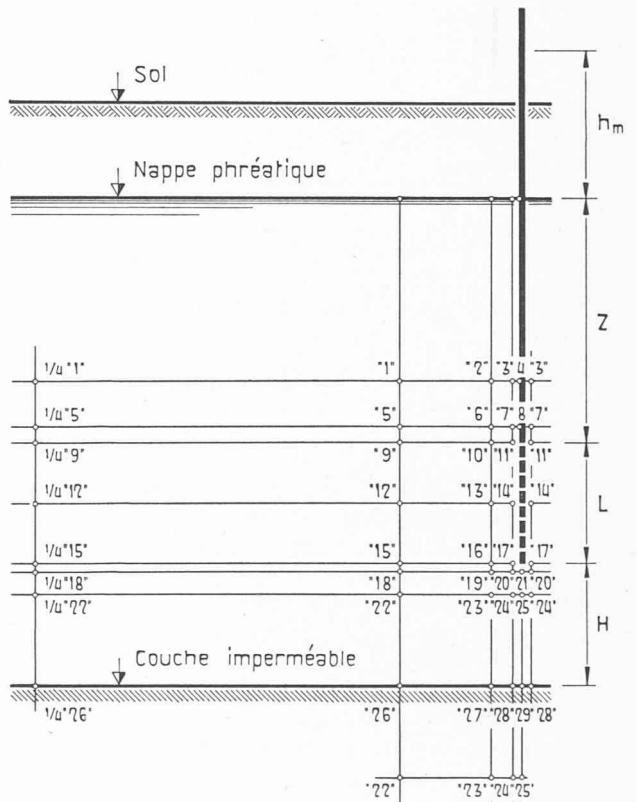


Fig. 5.

¹ Zur Theorie des vollkommenen und unvollkommenen Brunnens Springer Verlag, 1954.

En annulant le potentiel sur les bords, sa variation sur une horizontale présentait une discontinuité. Etant donné qu'on ne pouvait repousser les conditions aux limites à l'infini sans rendre identiquement nulles les équations des points de la verticale « 1 » ÷ « 26 », on a choisi une variation hyperbolique du potentiel à l'extérieur de cette verticale pour définir les conditions dans les bords (fig. 6) :

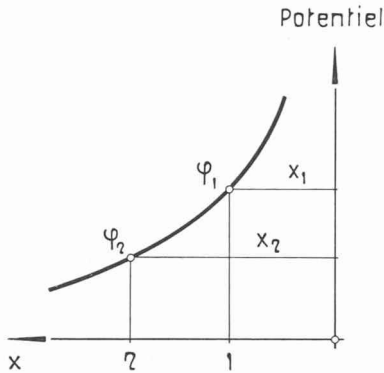


Fig. 6.

$x_1\phi_1 = x_2\phi_2$ avec ϕ = valeur du potentiel en un point

$$\phi_2 = \frac{x_1}{x_2} \phi_1 \tag{16}$$

qui par suite de l'écartement adopté entre les points devient

$$\phi_2 = \frac{\phi_1}{4}$$

L'équation (15) s'écrit alors un peu différemment pour les points de la verticale « 1 » ÷ « 26 » :

$$\begin{aligned} & r(\Delta u + \Delta o) \left(\frac{1}{\Delta r} - \frac{1}{2x} \right) + u(\Delta l + \Delta r) \frac{1}{\Delta u} + \\ & + o(\Delta l + \Delta r) \frac{1}{\Delta o} - m \left[(\Delta u + \Delta o) \left(\frac{1}{\Delta l} + \frac{1}{\Delta r} \right) + \right. \\ & \left. + (\Delta l + \Delta r) \left(\frac{1}{\Delta u} + \frac{1}{\Delta o} \right) - \frac{1}{4} (\Delta u + \Delta o) \left(\frac{1}{\Delta l} + \frac{1}{2x} \right) \right] = 0 \end{aligned} \tag{17}$$

Pour les points « 21 », « 25 » et « 29 » situés dans l'axe des puits, l'équation (15) est indéterminée ; en appliquant la règle de l'Hospital on trouve

$$\begin{aligned} & 2l(\Delta u + \Delta o) \frac{1}{\Delta l} + 2r(\Delta u + \Delta o) \frac{1}{\Delta r} + \\ & + u(\Delta l + \Delta r) \frac{1}{\Delta u} + o(\Delta l + \Delta r) \frac{1}{\Delta o} - \\ & - m \left[2(\Delta u + \Delta o) \left(\frac{1}{\Delta l} + \frac{1}{\Delta r} \right) + (\Delta l + \Delta r) \left(\frac{1}{\Delta u} + \frac{1}{\Delta o} \right) \right] = 0 \end{aligned} \tag{18}$$

Pour chaque cas concret on écrivait les équations à l'aide des formules (15), (17) et (18) et on résolvait le système de 29 équations linéaires à 29 inconnues. On obtenait alors le potentiel aux points choisis et on pouvait en dessiner la variation sur des horizontales et sur des verticales passant par ces points. Puis, ayant choisi une unité de différence de potentiel, il était facile de dessiner le champ dont l'allure est représentée sur la figure 7.

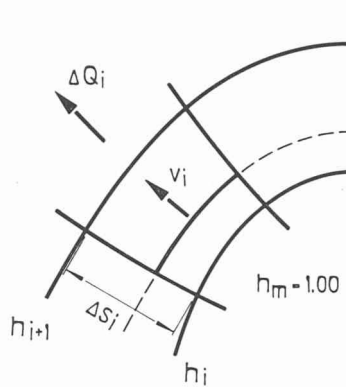


Fig. 8.

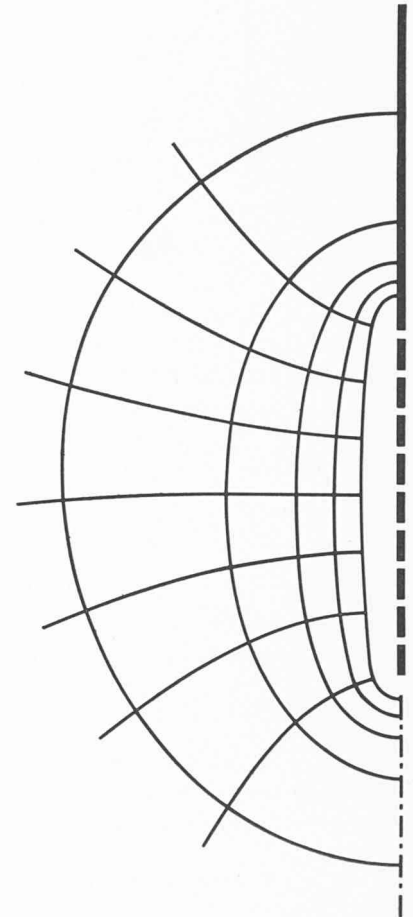


Fig. 7.

Il ne restait plus qu'à calculer le débit, ce qui s'obtenait en décomposant les surfaces en troncs de cônes ou en cylindres (fig. 8).

$$Q = \sum \Delta Q_i$$

$$\Delta Q_i = v_i F_i$$

$$v_i = k J_i = -k \frac{\Delta h_i}{\Delta s_i}$$

$$\Delta h_i = h_{i+1} - h_i$$

$$Q = -\sum k \frac{\Delta h_i}{\Delta s_i} F_i = -k \Delta h_i \sum \frac{F_i}{\Delta s_i} \tag{19}$$

Ce débit doit être le même pour les différentes valeurs du potentiel, ce qui constitue une vérification. Pour déterminer l'influence de chaque facteur, on a fait varier séparément les dimensions de la figure 9. De manière générale

$$Q = f(k, h_m, L, Z, H, \Phi) = k \cdot h_m \cdot f(L, Z, H, \Phi) \tag{20}$$

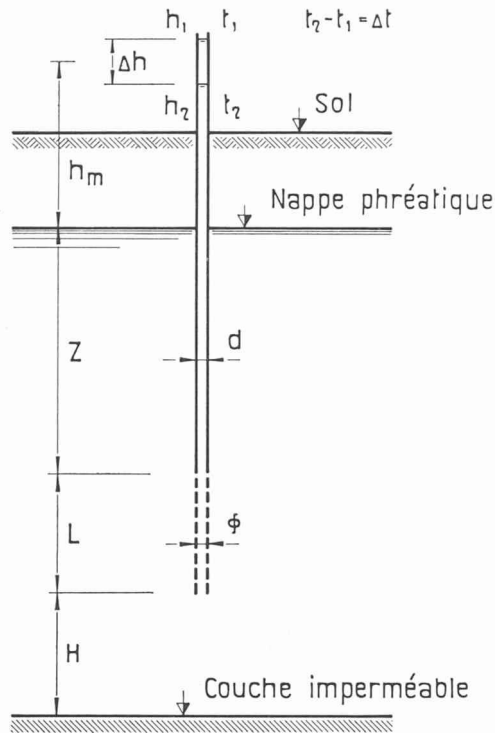


Fig. 9.

On s'est aperçu que H et Z n'avaient qu'une très faible influence ce qui a permis de réduire considérablement le nombre de systèmes à résoudre. En effet, les surfaces F_i qui sont des troncs de cônes ou des cylindres, sont proportionnelles au carré d'une longueur, Δs_i est une longueur, le quotient $\frac{F_i}{\Delta s_i}$ est donc proportionnel à une longueur. Par conséquent, si toutes les dimensions, sauf h_m , varient de n fois, le débit varie aussi de n fois.

Sur la base des cas calculés on peut déduire la formule de base suivante :

$$k = \frac{Q}{h_m a (1,032L + 30\phi)} \quad (21)$$

$k = (\text{m/sec})$
 $Q = (\text{m}^3/\text{sec})$
 $h_m = L = Q = (\text{m})$
 $a = \text{coefficient sans dimensions}$

Le coefficient a dépend de la longueur L du tuyau filtrant.

Pour $L \geq 6,00 \text{ m}$ $a = 1,000$ (22)

Pour $L \leq 6,00 \text{ m}$ $a = 0,481 + 0,173 L - 0,014 L^2$ (23)

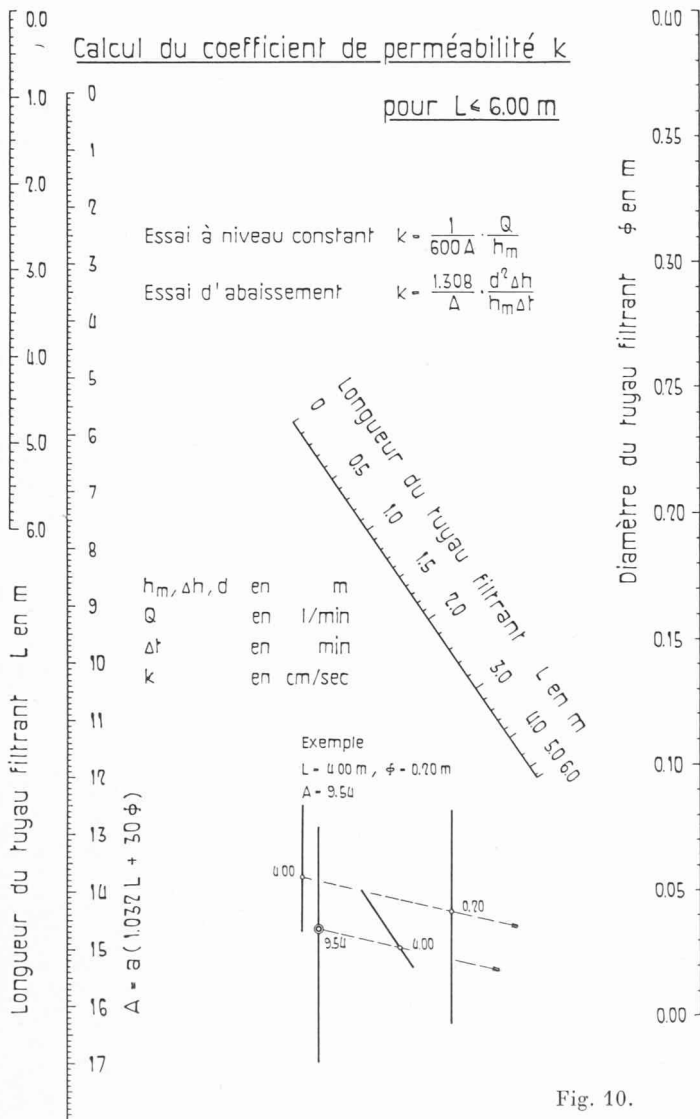


Fig. 10.

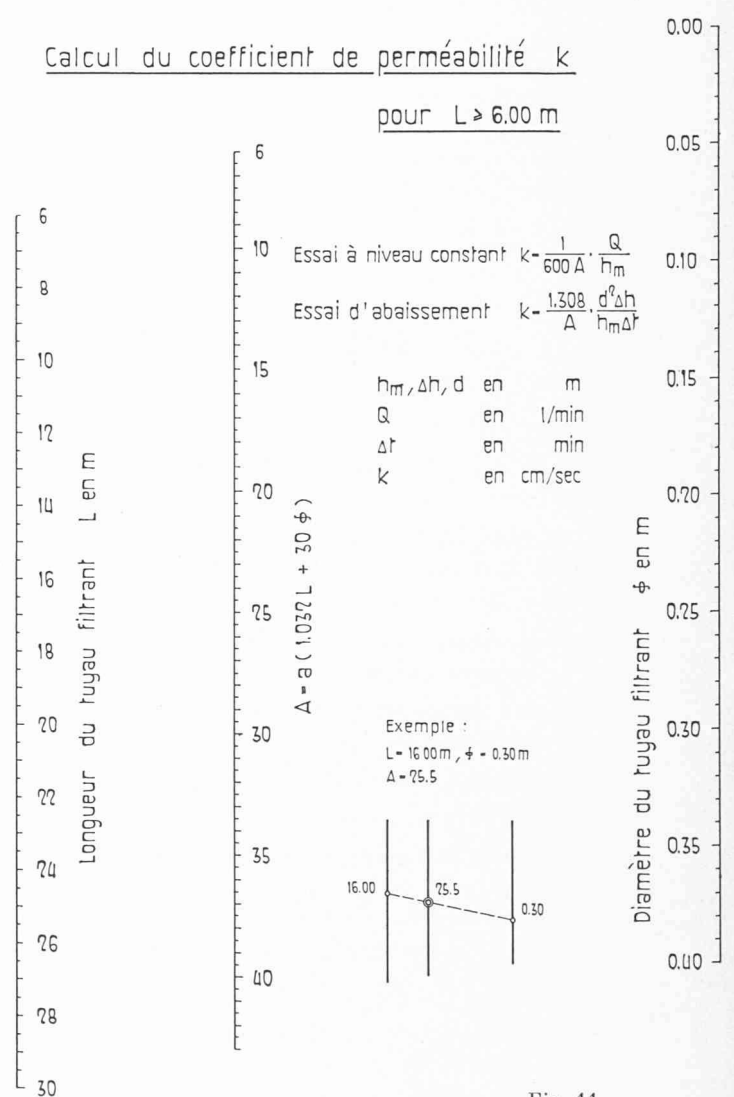


Fig. 11.

Les nomogrammes des figures 10 (pour $L \leq 6,00$ m) et 11 (pour $L \geq 6,00$) permettent de calculer rapidement la valeur

$$A = a (1,032 L + 30 \Phi) \quad (24)$$

Pour un essai donné, il suffit alors d'introduire cette valeur dans l'une des deux formules des figures 10 et 11 et d'y remplacer également les valeurs mesurées pour trouver la valeur de k .

Les formules des figures 10 et 11 ne sont pas homogènes car k s'indique en cm/s, alors qu'on mesure h_m , d et Δh en m, Q en l/min et Δt en min.

Exemple : $L = 4,00$ m $\Phi = 0,20$ m.

On tire de la figure 10 : $A = 9,54$.

$$\text{Essai à niveau constant : } k = \frac{1}{600 \cdot 9,54} \cdot \frac{Q}{h_m}$$

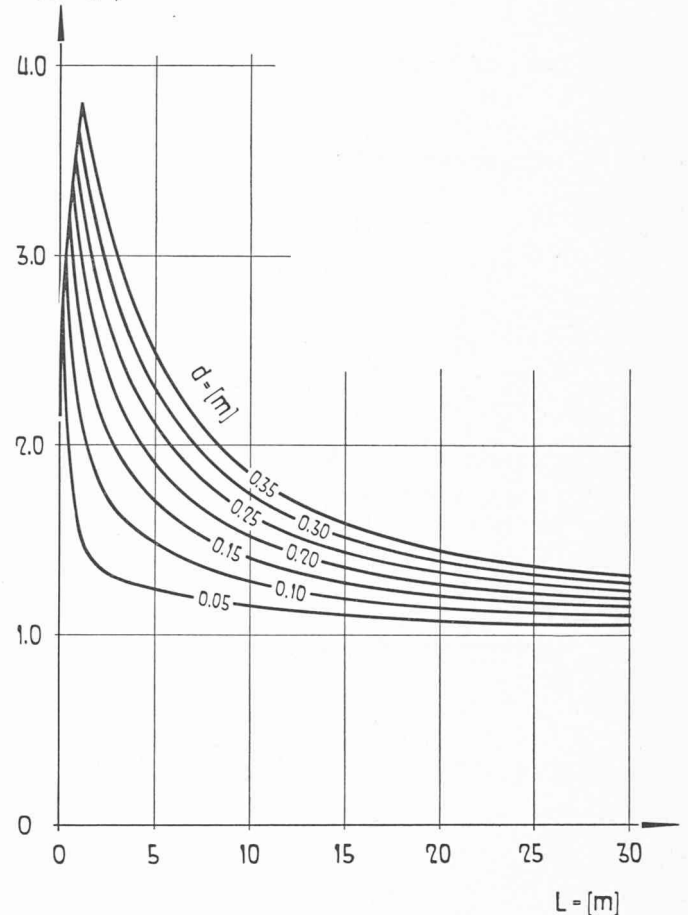
$$\text{Essai d'abaissement : } k = \frac{1,308}{9,54} \cdot \frac{d^2 \Delta h}{h_m \Delta t}$$

6. Comparaison entre les résultats des formules simplifiées et ceux du nomogramme

Cette comparaison est représentée dans la figure 12. La différence est surtout marquée pour les faibles longueurs et les grands diamètres. La comparaison n'a pas été poussée pour des $L < 3,1 \Phi$, car les formules simplifiées présentent une contradiction. Le débit de l'essai ponctuel est en effet supérieur au débit de la formule de superposition tant que $L < 3,1 \Phi$ ce qui est évidemment impossible.

$$\frac{Q}{k_{\text{relax}}} \cdot \frac{Q}{k_{\text{simpl.}}}$$

Fig. 12.



SUR DE NOUVELLES MÉTHODES DE CALCUL EN TOPOGRAPHIE

par A. ANSERMET, ingénieur, professeur à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne

Au cours de ces dernières années, une certaine évolution s'est manifestée dans le domaine de la topographie, portant notamment sur

- 1° la substitution, dans bien des cas, de mesures linéaires aux mesures angulaires ;
- 2° des changements de variables dans les calculs de compensation ;
- 3° l'emploi de moyens graphiques pour calculer les réseaux.

Le terme topographie est pris ici dans son sens le plus large.

Considérons un réseau de points P_i ($i = 1, 2 \dots n$) non encore compensé ; un premier calcul sommaire fournira des valeurs approchées, provisoires, des divers éléments à déterminer. Cela amène à distinguer, en dehors des quantités mesurées, des valeurs provisoires des longueurs, angles, coordonnées, qu'il ne faut pas confondre avec les éléments définitifs, compensés.

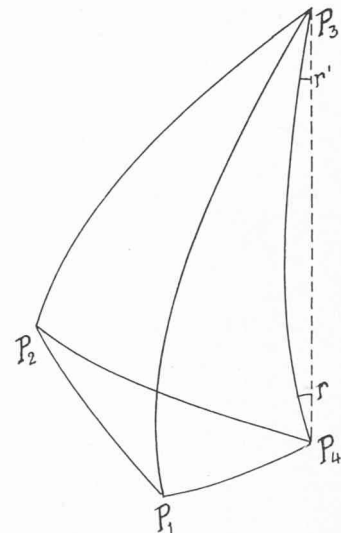


Fig. 1.