

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Étude Expérimentale des Filtres de Granulométrie Uniforme

Experiments on Uniformly Graded Filters

par H. ZWECK, Dr.-Ing., Chef de la Section de la Mécanique des Sols,
et
R. DAVIDENKOFF, Dr., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Germany

Sommaire

Les essais effectués à la Bundesanstalt für Wasserbau avaient pour but d'étudier, pour des sables et des graviers de granulométrie uniforme, la relation pour un filtre stable entre la grosseur moyenne des grains du filtre et celle des grains du sol D_{50}/d_{50} , en fonction de la grosseur absolue des grains et de l'action du courant d'infiltration provenant de différentes directions.

Les essais ont montré que cette relation, pour les sols étudiés, n'est pas une constante, comme on l'admet dans le calcul actuel des filtres, mais qu'elle varie selon la grosseur absolue des grains du matériau fin et aussi, sauf dans le cas où le sol se trouve au-dessus du filtre, selon le gradient du courant d'infiltration. Pour un gradient donné, elle varie inversement à la grosseur absolue des grains du matériau fin et, pour un matériau fin donné, inversement au gradient du courant d'infiltration.

Introduction

Un filtre remplit bien ses fonctions, si les particules du sol protégé par le filtre ne pénétrant pas dans les vides entre les grains du filtre sous l'action du courant d'infiltration et éventuellement de la force de pesanteur. Si le filtre se compose de plusieurs couches, la même condition est valable pour deux couches de filtre voisines.

Pour atteindre ce but, le filtre, selon les recommandations dont on se sert actuellement, doit être composé de telle façon que la grosseur des grains du filtre et la grosseur des grains du sol ainsi que les grosseurs des grains de deux couches de filtre voisines soient dans une certaine relation entre elles.

Ainsi, d'après le critère du 'Bureau of Reclamation' (U.S.A.), la relation suivante doit être satisfaite pour les filtres de granulométrie uniforme dans les barrages en terre

$$5 < D_{50}/d_{50} < 10$$

D désigne le diamètre des grains du matériau grossier; d celui du sol protégé par le filtre ou d'une couche de filtre plus fine; l'indice 50 désigne le point d'ordonnée 50 sur la courbe granulométrique.

Pour les filtres de granulométrie uniforme derrière les murs de quai, LACKNER (1955) recommande la relation

$$D_{50}/d_{50} = 3 \text{ à } 4$$

Toutes les recommandations concernant la composition des filtres ne prennent pas en considération la grosseur absolue des grains du matériau de base, ni la direction du courant d'infiltration entrant dans le filtre par rapport à celle de la pesanteur. De même, l'influence de la cohésion dans le cas des sols cohérents n'est pas prise en considération. Cette dernière question a été étudiée par DAVIDENKOFF (1955) qui a démontré que la composition du filtre au voisinage d'un sol cohérent peut être largement simplifiée.

Dans ce qui suit, les auteurs décrivent les essais effectués en 1955 et 1956 à la Section de la Mécanique des Sols de la Bundesanstalt für Wasserbau. Le but de ces essais était d'étudier le rapport entre la relation D_{50}/d_{50} pour un filtre stable de granulométrie uniforme et la grosseur absolue des

Summary

The experiments carried out in the Bundesanstalt für Wasserbau with uniform sands and gravels should clarify the relation between the average size of the filter grains and that of the soil grains D_{50}/d_{50} for a stable filter, as a function of the absolute size of grains and the action of seepage flow coming in from different directions.

The experiments prove that this relation for the soils being investigated is not a constant one as is adopted in the actual calculation of filters, but this relation varies with the absolute size of grains of fine material and, with the exception when the soil is placed above the filter, with the seepage gradient too. The relation D_{50}/d_{50} varies, for a given gradient, inversely as the absolute size of the grains of fine material and, for a given fine material, inversely as the seepage gradient.

grains du matériau de base soumis à l'action du courant d'infiltration provenant de différentes directions.

Essais et Leurs Résultats

Pour la majeure partie des essais effectués jusqu'ici, on utilisa des sables et des graviers tamisés avec les dimensions de grains suivantes: 0.06–0.1 mm; 0.1–0.2 mm; 0.2–0.5 mm; 0.5–1.0 mm; 1.0–2.0 mm; 2.0–3.0 mm; 3.0–6.0 mm; 6.0–10.0 mm; 10.0–15.0 mm; 15.0–20.0 mm; 20.0–25.0 mm. Dans quelques essais on utilisa, comme matériau de base, un sol limoneux avec la grosseur des grains entre 0.01 et 0.2 mm.

Les essais avec ces matériaux furent effectués pour 3 directions du courant d'infiltration indiquées sur la Fig. 1. Pour

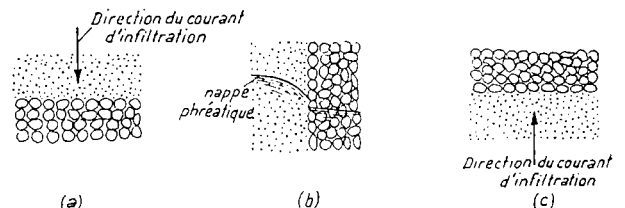


Fig. 1 Positions du filtre et directions du courant d'infiltration étudiées dans les essais

Filter positions and directions of percolation flow investigated

chaque matériau de base et chacune de ces 3 directions on déterminait la grosseur des grains du filtre qui garantissait la stabilité du matériau fin protégé par le filtre.

Filtre horizontal — Direction du courant d'infiltration coïncidant avec celle de la force de pesanteur (Fig. 1a) — Dans ce cas, le filtre doit empêcher la pénétration du matériau fin dans le matériau grossier inférieur sous l'action du courant d'infiltration et de la force de pesanteur.

Après que des essais antérieurs (DAVIDENKOFF, 1955) aient montré que les grains du matériau fin forment, à la limite avec

le matériau grossier, une sorte de voûte qui reste stable sous l'action de hauts gradients du courant d'infiltration, les auteurs procédèrent à l'étude de l'influence de la grosseur absolue des grains sur la stabilité du filtre.

Les essais furent effectués dans un cylindre en plexiglas représenté sur la Fig. 2. Le matériau fin fut placé sur une couche de filtre, et on observait si les particules du matériau fin tombaient dans les vides entre les grains du matériau grossier. Ces essais furent exécutés avec les matériaux secs et les matériaux placés sous l'eau.

En outre, on soumit dans quelques cas (essais 1-4 du Tableau 1) les deux couches à l'action d'un courant d'infiltration (Fig. 2) au gradient, dans le matériau fin, $i \approx 1$ et on observa, si un changement de la perméabilité de la zone transitoire entre les deux couches de sol, ainsi qu'un déplacement visible du matériau fin dans le matériau grossier avait lieu.

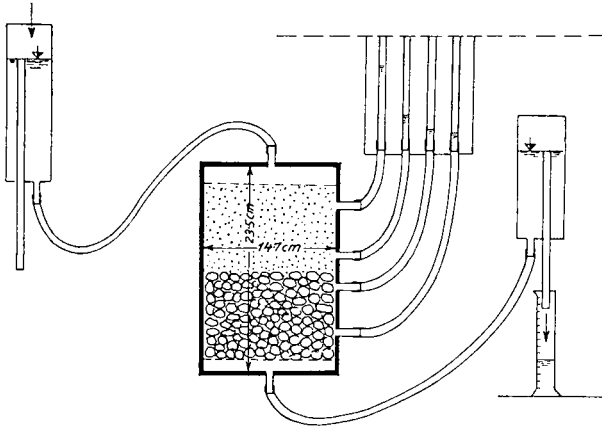


Fig. 2 Appareil pour les essais avec un filtre horizontal
Apparatus for experiments with a horizontal filter

Aucune diminution de la stabilité du filtre sous l'action du courant d'infiltration ne fut observée au cours de ces essais.

Les résultats des essais figurent au Tableau 1 qui donne les relations D_{50}/d_{50} pour un filtre stable.

Tableau 1
Essais sur le filtre Fig. 1a
Tests of the filter shown in Fig. 1a

No.	Matériau fin		Matériau grossier		$\frac{D_{50}}{d_{50}}$
	Grandeur des grains mm	d_{50} mm	Grandeur des grains mm	D_{50} mm	
1	0.01-0.2 (sol limoneux)	0.05	1.0-2.0	1.5	30.0
2	0.06-0.1	0.08	1.0-2.0	1.5	18.7
3	0.1-0.2	0.15	2.0-3.0	2.5	16.7
4	0.2-0.5	0.35	3.0-6.0	4.5	12.9
5	0.5-1.0	0.75	6.0-10.0	8.0	10.7
6	1.0-2.0	1.5	10.0-15.0	12.5	8.3
7	2.0-3.0	2.5	20.0-25.0	22.5	9.0

Les essais montrent que la relation D_{50}/d_{50} , se situe, pour des sables uniformes, entre 0.2 et 3.0 mm, en moyenne près de 10, et augmente avec la diminution du diamètre des grains. Ainsi, pour un matériau de base de 0.06 à 0.1 mm la relation D_{50}/d_{50}

atteignit environ 19. Cette proportion élevée pourrait éventuellement avoir pour cause l'influence de la cohésion, si petite soit-elle. Pour un sol limoneux la relation D_{50}/d_{50} s'éleva même jusqu'à 30.

Filtre vertical (Fig. 1b) — Si nous avons un filtre vertical, comme, par exemple, dans un puits filtrant, la stabilité du matériau fin ne sera menacée qu'à partir du moment où la vitesse du courant d'infiltration entrant dans le filtre deviendra assez grande pour pouvoir transporter les particules du matériau fin dans les vides du matériau grossier. Le filtre doit être composé de manière à empêcher ce transport.

Les essais qui devaient donner la relation D_{50}/d_{50} pour un filtre stable en fonction de la grosseur absolue des grains du matériau fin et des gradients du courant d'infiltration ont été effectués dans une cuve vitrée (Fig. 3). Après la mise en place du sol, on traçait sur la vitre de la cuve la ligne limitant les deux

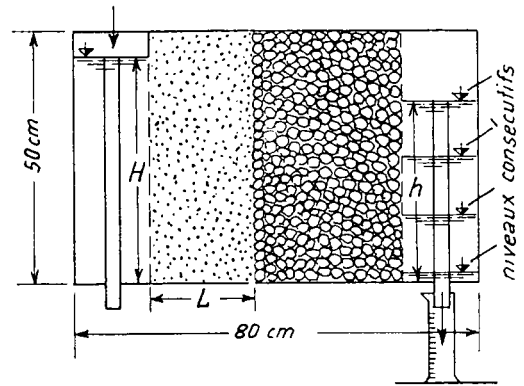


Fig. 3 Appareil pour les essais avec un filtre vertical
Apparatus for experiments with a vertical filter

matériaux et on observait, pendant l'essai, les déplacements du matériau fin. Si la stabilité de ce matériau n'était pas assurée, ce dernier pénétrait dans le matériau grossier en forme de langue qui, à mesure que les vitesses du courant augmentaient, s'allongeait vers l'aval.

Les résultats des essais représentant les relations D_{50}/d_{50} pour un filtre stable sous différents gradients du courant d'infiltration figurent au Tableau 2. Comme gradient nous avons choisi d'abord le 'gradient moyen' $i_m = (H - h)/L$ (Fig. 3), ce qui suffisait pour étudier l'influence qualitative du courant d'infiltration sur la stabilité du sol derrière le filtre. La vitesse du courant qui, en sortant du matériau fin, provoque le déplacement de ce matériau dépend de ce gradient moyen.

Les résultats des essais sur un filtre vertical permettent de tirer les conclusions suivantes:

(a) La relation D_{50}/d_{50} pour un filtre stable varie en raison inverse de la vitesse du courant d'infiltration car, comme on peut le voir au Tableau 2, la relation D_{50}/d_{50} augmente, pour un gradient donné, avec la diminution de la grosseur absolue des grains du matériau fin et, pour une grosseur de grains donnée, avec la diminution du gradient du courant.

(b) Pour le gradient moyen $i_m \geq 2.2$ et pour la grandeur des grains entre 0.06 et 2.0 mm, la relation D_{50}/d_{50} se situe respectivement entre 31.3 et 5.3. Il faut cependant remarquer qu'on aura rarement dans la pratique, à l'exception, peut-être, des puits filtrants, un gradient moyen si haut dans le matériau grossier. C'est pourquoi on pourra choisir le plus souvent la relation D_{50}/d_{50} supérieure à 5.3, car si le gradient baisse, la relation D_{50}/d_{50} monte.

Dans les essais ultérieurs nous nous proposons d'étudier de plus près et en employant une technique expérimentale améliorée, la relation entre la quantité D_{50}/d_{50} et le gradient du courant d'infiltration pour l'intervalle des gradients de petite et moyenne grandeur.

Tableau 2
Essais sur le filtre Fig. 1b
Tests of the filter shown in Fig. 1b

No.	Matériau fin		Matériau grossier		$\frac{D_{50}}{d_{50}}$	i_m
	Grandeur des grains mm	d_{50} mm	Grandeur des grains mm	D_{50} mm		
1	0.01-0.2 (sol limoneux)	0.05	3.0-6.0	4.5	90.0	> 2.2
2	0.06-0.1	0.08	2.0-3.0	2.5	31.3	> 2.2
3	0.1-0.2	0.15	3.0-6.0	4.5	30.0	1.6
4	0.1-0.2	0.15	2.0-3.0	2.5	16.7	> 2.2
5	0.2-0.5	0.35	6.0-10.0	8.0	22.9	0.5
6	0.2-0.5	0.35	3.0-6.0	4.5	12.9	2.2
7	0.5-1.0	0.75	6.0-10.0	8.0	10.7	1.1
8	0.5-1.0	0.75	3.0-6.0	4.5	6.0	2.2
9	1.0-2.0	1.5	6.0-10.0	8.0	5.3	2.2

Filtre horizontal — Direction du courant d'infiltration contraire à celle de la force de pesanteur (Fig. 1c) — Dans ce cas, la stabilité du matériau fin ne sera menacée qu'à partir du moment où le gradient du courant d'infiltration atteindra la valeur $i \approx 1$, car c'est seulement à ce moment que le danger de

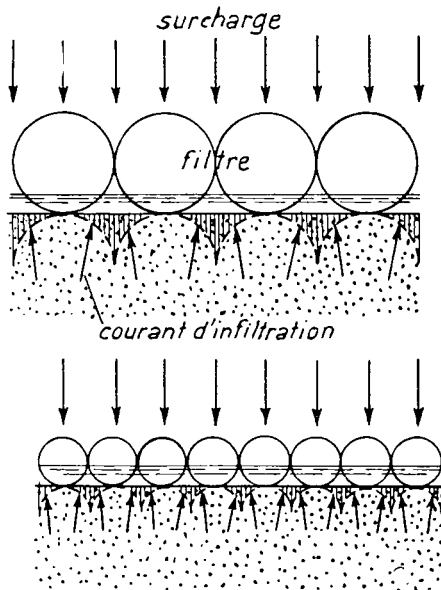


Fig. 4 Comparaison des zones insuffisamment chargées par les couches supérieures
Comparison of zones insufficiently loaded by the upper layers

renard sous forme de la mise en boulangue du sol peut se manifester.

Mais cette mise en boulangue peut-être évitée même pour $i > 1$, si le sol qui doit être protégé est chargé avec la même intensité sur toute sa surface par une surcharge perméable. Si, cependant, les vides entre les grains du matériau grossier, servant comme surcharge, sont trop grands, il y aura dans le matériau fin des zones moins chargées ou, pratiquement, pas chargées du tout qui pourront être ameublies sous l'action du courant d'infiltration. La Fig. 4 montre que ce danger diminue

avec la diminution des grains du matériau grossier. Le rôle du filtre consiste donc à répartir la surcharge perméable le plus régulièrement possible sur la surface du sol pour éviter l'ameublissement de ce dernier par suite de la formation de renards.

Les essais sur le filtre de la Fig. 1c furent effectués dans l'appareil de la Fig. 2, seulement le matériau fin était maintenant placé au-dessous et le matériau grossier au-dessus. Le soulèvement du sol et du filtre sous la pression du courant ne pouvait pas avoir lieu, car la surface du matériau grossier était couverte d'un disque métallique à ouvertures qui s'appuyait sur le couvercle supérieur de l'appareil. On mesurait dans chaque essai le gradient i_c du courant d'infiltration dans le matériau fin qui correspondait au moment où l'ameublissement de ce matériau par suite de la formation de renards progressait à tel point que le matériau grossier s'enfonçait dans les zones ameublées du matériau fin.

Les résultats des essais qui n'avaient d'abord pour but que de décélérer la tendance générale dans le rapport entre D_{50}/d_{50} et le gradient i_c correspondant au moment d'écroulement du filtre figurent au Tableau 3.

Tableau 3
Essais sur le filtre Fig. 1c
Tests of the filter shown in Fig. 1c

No.	Matériau fin		Matériau grossier		$\frac{D_{50}}{d_{50}}$	i_c
	Grandeur des grains mm	d_{50} mm	Grandeur des grains mm	D_{50} mm		
1	0.06-0.1	0.08	6.0-10.0	8.0	100.0	entre 1.0 et 1.6
2	0.06-0.1	0.08	3.0-6.0	4.5	56.3	> 5.1
3	0.1-0.2	0.15	6.0-10.0	8.0	53.3	1.5
4	0.1-0.2	0.15	3.0-6.0	4.5	30.0	3.8
5	0.1-0.2	0.15	2.0-3.0	2.5	16.7	> 5.1
6	0.2-0.5	0.35	10.0-15.0	12.5	35.7	2.0
7	0.2-0.5	0.35	6.0-10.0	8.0	22.9	2.7
8	0.2-0.5	0.35	3.0-6.0	4.5	12.9	> 5.1
9	0.5-1.0	0.75	6.0-10.0	8.0	10.7	4.0
10	0.5-1.0	0.75	3.0-6.0	4.5	6.0	> 5.1

Les essais montrent que la relation D_{50}/d_{50} pour un filtre stable dépend, dans le même sens que dans les essais du filtre vertical, de la vitesse du courant d'infiltration, c'est-à-dire de la grosseur absolue des grains du matériau fin et du gradient du courant d'infiltration.

Les essais vont être poursuivis dans le but de déterminer le rapport entre la relation D_{50}/d_{50} et la hauteur de la surcharge perméable.

Conclusion

Quoique les essais ne soient pas encore terminés, on peut en tirer les conclusions suivantes pour les sols étudiés:

(a) La relation D_{50}/d_{50} pour un filtre stable dépend, dans le cas de la Fig. 1a, de la grosseur absolue des grains du matériau fin, mais ne dépend pas de l'action du courant d'infiltration.

Dans le cas de la Fig. 1b et c, elle dépend, au contraire, de la vitesse du courant d'infiltration, qui, de son côté, est

déterminée par la grosseur des grains du matériau fin et par le gradient du courant d'infiltration. Une certaine influence de la cohésion peut faire augmenter la relation D_{50}/d_{50} pour les très petits grains.

On voit donc que la relation D_{50}/d_{50} dépend de la grosseur absolue des grains du matériau de base, notamment dans le cas de la Fig. 1b et c elle est, pour un gradient donné, d'autant plus grande, que les grains du matériau fin sont petits. Pour un matériau fin donné, elle est, dans le cas de la Fig. 1b et c, d'autant plus grande, que le gradient du courant d'infiltration est petit.

(b) Pour les sables uniformes entre 0.06 et 3.0 mm, la relation D_{50}/d_{50} , pour un filtre stable dans le cas de la Fig. 1a, est égale à environ 10, pour les grains entre 0.2 et 3.0 mm. C'est seulement pour les grains de moindre grosseur que cette relation augmente et atteint environ 19, pour les grains entre 0.06 et 0.1 mm. Dans le cas de la Fig. 1b et c, la relation D_{50}/d_{50} , pour les gradients du courant qu'on peut attendre dans la pratique, ne descendra pas au-dessous de 5 et le plus souvent sera supérieure à 10.

(c) On peut voir, d'après ce qui a été dit dans b, que le

critère du 'Bureau of Reclamation' pour les filtres de granulométrie uniforme permet bien de calculer le filtre de la Fig. 1a. Dans le cas de la Fig. 1b et c, l'emploi de ce critère va nous amener dans beaucoup de cas à un coefficient de sécurité trop élevé. Selon le gradient du courant auquel on peut s'attendre et la grosseur absolue des grains du matériau de base, on peut dans ces cas choisir une relation D_{50}/d_{50} beaucoup plus favorable.

Références

- DAVIDENKOFF, R. (1955). De la composition des filtres dans les barrages en terre. *V^e Congrès des Grands Barrages*. Paris. Rapport 25
- LACKNER, E. (1955). Technischer Jahresbericht ueber die Arbeiten des Ausschusses zur Vereinfachung der Berechnung und Gestaltung von Ufereinfassungen. *Die Bautechnik*, 32, H. 12, S. 417
- POST G. et LONDE, P. (1953). Les barrages en terre compactée. *Pratiques Américaines*. Paris; Gauthier-Villars
- SICHARDT, W. (1952). Kies- und Sandfilter im Grund- und Wasserbau. *Die Bautechnik*, 29, H. 3, S. 72
- TERZAGHI, K. and PECK, R. B. (1948). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York; Wiley