

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 90 (1964)
Heft: 2: Autoroute Genève-Lausanne, fascicule no 3

Artikel: Filtres pour drainages
Autor: Recordon, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-66963>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

mais que pour le nucléodensimètre, le salaire est de 1250 fr., pour le même nombre de jours (opérateur plus qualifié).

Le coût des essais comporte, pour les trois premières méthodes, uniquement la détermination du poids spécifique apparent, qui se fait sur place. Il aurait encore fallu compter le coût de la détermination de la teneur en eau, qui se fait en laboratoire. Par contre, pour le nucléodensimètre, la teneur en eau se déterminant sur place, son coût est compté dans celui d'un essai.

On constate donc que, malgré la somme importante à investir lors de l'achat de l'appareil, le nucléodensimètre permet de faire des essais de contrôle dont le coût n'est pas plus élevé que celui des essais que l'on fait par les autres méthodes. Néanmoins, il faut remarquer que l'estimation faite dans le tableau de la page précédente ne tient pas compte de tous les facteurs. Les frais de déplacement par exemple viendraient encore augmenter le coût des essais traditionnels par rapport à celui des essais au nucléodensimètre. Par contre, les frais d'entretien et d'étalonnage des appareils sont relativement élevés dans le cas du nucléodensimètre et sont bas pour les autres méthodes.

Le nucléodensimètre est un appareil à grand rende-

ment dont l'achat ne se justifie que pour autant que l'on ait fréquemment une cinquantaine d'essais de contrôle à faire chaque jour. Il ne faut en outre pas perdre de vue que ce type d'appareil nécessite de la part de l'opérateur un soin particulier dans l'exécution des essais et un esprit critique constamment en éveil. Il nécessite aussi un dispositif d'étalonnage bien étudié et la possibilité, à un moment quelconque, de faire appel à des spécialistes connaissant l'électronique et les radio-isotropes pour réparer toute panne éventuelle.

* * *

Nous tenons à remercier M. E. Dubochet, ingénieur en chef du Bureau de construction des autoroutes, et M. le professeur D. Bonnard, directeur du Laboratoire de géotechnique de l'EPUL, qui ont accepté le risque du financement d'un appareillage entièrement nouveau, ainsi que M. D. Bovet, ingénieur-physicien au Laboratoire de géotechnique, qui a rédigé le chapitre IV.1 du présent article.

Lausanne, octobre 1963.

FILTRES POUR DRAINAGES

par E. RECORDON, ingénieur, chef de travaux au Laboratoire de géotechnique de l'EPUL

I. Préambule

Lorsqu'une canalisation de drainage est établie dans un sol sableux ou limoneux, susceptible de donner lieu au phénomène d'érosion interne c'est-à-dire à l'entraînement des particules les plus fines par l'écoulement de l'eau, il est nécessaire de placer entre les tuyaux perforés de la canalisation et le sol qui doit être drainé une couche filtrante. Le matériau qui constitue cette couche filtrante doit avoir une granulométrie plus grossière que le sol que l'on veut protéger, mais suffisamment fine pour que les particules les plus fines du sol ne puissent pas pénétrer dans les pores de la couche filtrante et finalement la traverser. Des règles empiriques ont été établies pour fixer la granulométrie de la couche filtrante à partir de celle du sol à protéger.

La norme de l'Union suisse des professionnels de la route SNV 70 125, prescriptions de qualité des matériaux pour filtres, donne par exemple les quatre conditions suivantes :

$$\begin{aligned} a) \frac{D_{15} \text{ couche filtrante}}{D_{15} \text{ sol à protéger}} &\geq 5 \\ b) \frac{D_{15} \text{ couche filtrante}}{D_{85} \text{ sol à protéger}} &\leq 5 \\ c) \frac{D_{50} \text{ couche filtrante}}{D_{50} \text{ sol à protéger}} &\leq 25 \\ d) \frac{D_{85} \text{ couche filtrante}}{\phi \text{ trous du tuyau perforé}} &\geq 1 \end{aligned}$$

Dans ces inégalités, D_x est le diamètre des éléments correspondant à $x\%$ sur la courbe granulométrique.

Ces règles empiriques ne sont toutefois pas très précises et laissent une certaine marge pour le choix de la composition granulométrique de la couche filtrante.

Le Bureau de construction des autoroutes vaudoises a jugé utile d'étudier de façon plus détaillée, par des essais de laboratoire, le comportement de certains matériaux utilisés comme couche filtrante. Il s'agissait surtout d'étudier la possibilité d'utiliser une grave, sable et gravier tout-venant, répondant aux prescriptions de qualité des graves pour fondation (contenant moins de 3 % d'éléments plus petits que 0,02 mm) à la place des graviers, gravillons ou sables propres à granulométrie uniforme utilisés couramment dans ce but mais dont le coût est relativement élevé.

Notre but est de donner les résultats des essais exécutés pour cette étude par le Laboratoire de géotechnique de l'EPUL.

II. Première étude

Avant la demande du Bureau de construction des autoroutes, une première étude avait été exécutée par le Laboratoire de géotechnique de l'EPUL, à la demande de M. Bonjour, ingénieur, président de la Commission 3 « superstructure et infrastructure » de l'Union suisse des professionnels de la route.

Une cuve en maçonnerie de sections rectangulaires, de 2 m de longueur, de 60 cm de largeur et de 2 m de hauteur environ, constituait un modèle de tranchée drainante à l'échelle 1 : 1. A 60 cm du fond de la cuve, se trouvait une grille, dont l'ouverture des mailles pouvait être modifiée suivant la granulométrie du matériau

étudié. La cuve, au-dessus de la grille, était remplie sur 1 m de hauteur du matériau filtrant étudié. Une conduite d'alimentation permettait de répartir l'eau sur toute la surface de la cuve. Trois essais ont été exécutés, à l'aide de ce modèle, en régime d'écoulement permanent, le plan d'eau étant maintenu 6 cm au-dessus du niveau supérieur de la couche filtrante :

Essai I — Gravier rond 20-40 mm

Ce matériau a été mis en place en vrac, sans compactage ; le débit a été contrôlé pendant plusieurs jours ; il n'a pas varié et correspondait à un coefficient de perméabilité de Darcy de $5,8 \text{ cm/sec}$. La grille constituant le fond de la cuve avait des ouvertures de 3 mm.

Essai II — Grave de Bioley-Orjulaz, compactée à la dame à main par couches de 15 cm

Cette grave est composée d'environ 75 % de gravier de 2 à 60 mm, 22 % de sable de 2 à 0,06 mm et de 3 % de fins.

La grille de 3 mm, utilisée lors de l'essai précédent, est recouverte d'un papier filtre. L'essai a duré environ un mois. Au début, le coefficient de perméabilité de Darcy était égal à $4 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$. Lors du troisième jour d'essai, il a brusquement diminué jusqu'à $1,5 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$, puis il a continué à diminuer pour atteindre finalement la valeur de $6 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$.

La variation du coefficient de Darcy en fonction du temps est donnée à la figure 1.

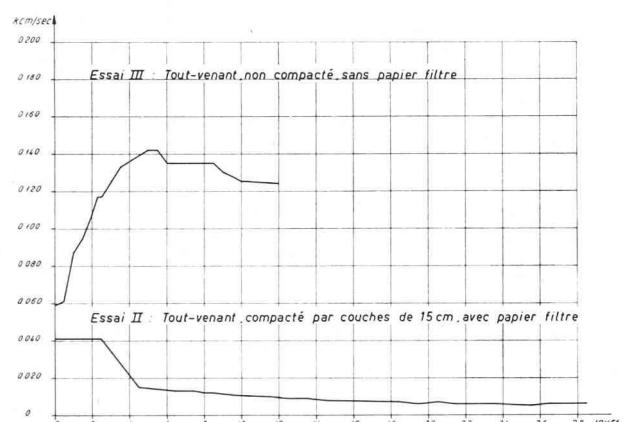


Fig. 1. — Variation du coefficient de perméabilité de Darcy d'une grave, en fonction du temps.

Essai III — Grave de Bioley-Orjulaz, non compactée

Pour cet essai, le papier filtre a été éliminé. Seule subsiste la grille de 3 mm d'ouverture. Au début de l'essai, le coefficient de perméabilité de Darcy est de $6 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$, puis il augmente pour atteindre, après le cinquième jour, la valeur de $1,4 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$. Il décroît ensuite légèrement et prend la valeur $1,2 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$ après le douzième jour d'essai.

Les conclusions qui peuvent être tirées de ces trois essais sont les suivantes :

— Le coefficient de Darcy du gravier rond 20-40 mm est environ 100 fois plus grand que celui de la grave.

— Au début des essais II et III, les coefficients de perméabilité de la grave, compactée ou non, sont presque les mêmes ($4 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ pour la grave compactée et $6 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ pour la grave non compactée).

— Dans l'essai II, la présence du papier filtre provoque à la longue l'accumulation des éléments fins dans le bas de la couche filtrante, ce qui est cause d'une diminution sensible de la perméabilité.

— Dans l'essai III, sans papier filtre, les éléments fins passent au travers de la grille, laissant des cavités dans la partie inférieure de la couche filtrante, et la perméabilité augmente. Il semble toutefois que la formation de ces cavités ne se propage pas au-delà d'une certaine distance dans la couche filtrante, car les entraînements de particules fines diminuent avec le temps et la perméabilité cesse d'augmenter. Elle diminue même légèrement, ce qui fait penser qu'au-delà de la zone des cavités, il se produit dans la couche filtrante un phénomène analogue à celui observé dans l'essai II, avec papier filtre, c'est-à-dire accumulation d'éléments fins, qui est cause d'une diminution de perméabilité.

III. Deuxième étude

Cette deuxième étude, exécutée plus tard, à la demande du Bureau de construction des autoroutes vaudoises, a été faite à l'aide d'un dispositif analogue dans son principe, mais de plus petites dimensions : la cuve à section rectangulaire est remplacée par un cylindre transparent de 45 cm de diamètre et de 80 cm de hauteur ; il est fermé à sa base par une plaque métallique percée de quatre trous, dont le diamètre et l'écartement sont semblables à ceux des tuyaux perforés utilisés comme conduite de drainage. La figure 2 donne les caractéristiques de cet appareillage.

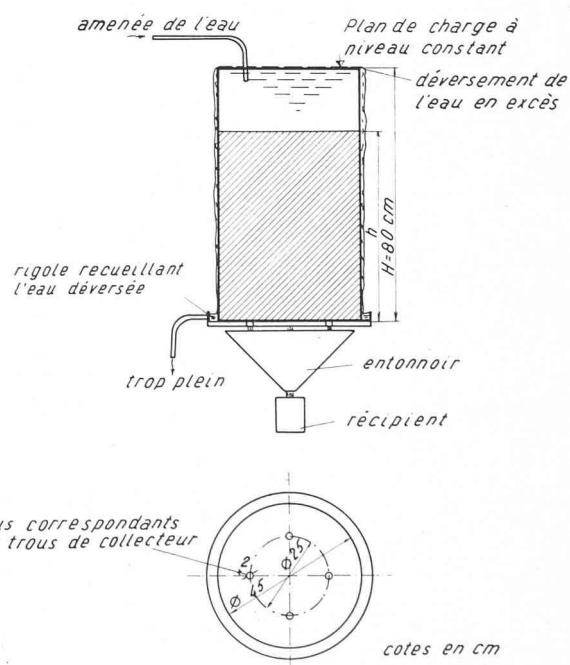


Fig. 2. — Appareil de mesure de la perméabilité des filtres pour drainage. Coupe verticale selon l'axe et vue de la plaque de base.

Le cylindre est rempli du matériel à étudier, qui comprend soit une seule couche homogène, soit plusieurs couches de nature différente (filtre à plusieurs couches). L'appareil est alimenté à sa partie supérieure de façon à ce que le niveau d'eau se maintienne toujours

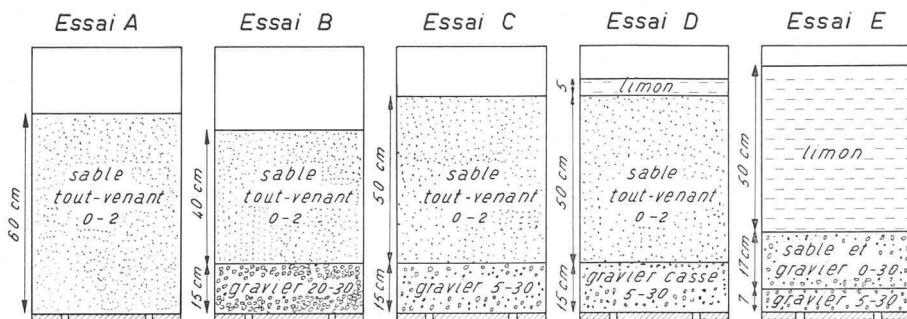


Fig. 3. — Coupe schématique des filtres étudiés.

au niveau supérieur du tube de plexiglas et que l'eau déverse légèrement à l'extérieur. Au-dessous de l'appareil, un entonnoir permet de recueillir l'eau, à la sortie des quatre trous, dans un récipient de volume connu. La mesure périodique du temps de remplissage de ce récipient permet de calculer le débit. Un autre récipient recueille en permanence au-dessous de l'entonnoir les particules solides qui sont entraînées par l'écoulement. Le débit solide est également chiffré par pesage des éléments recueillis.

Cinq essais de longue durée furent exécutés à l'aide de cet appareillage. La figure 3 montre schématiquement la coupe verticale des matériaux placés dans l'appareil de perméabilité pour chacun de ces essais. La composition granulométrique des matériaux est donnée à la figure 4.

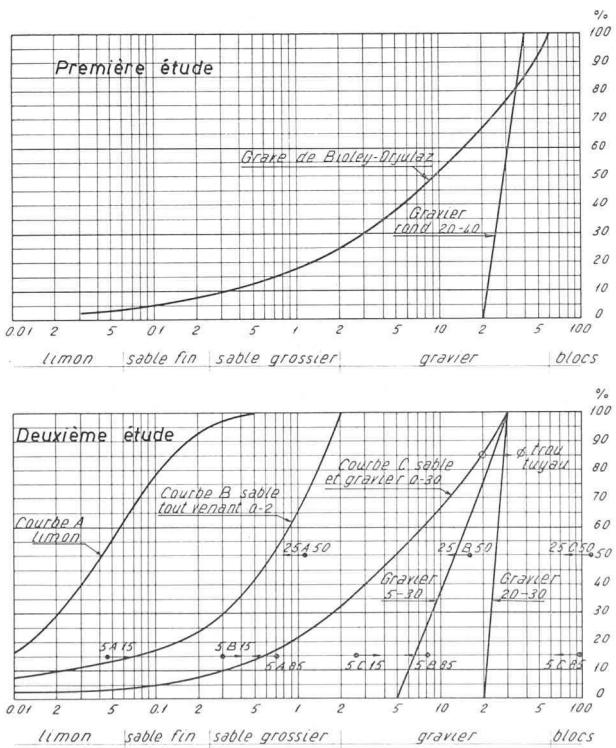


Fig. 4. — Courbes granulométriques des matériaux utilisés comme filtres.

Dans le but d'accélérer le phénomène d'entraînement des particules fines, les essais ont tout d'abord été exécutés sous une charge hydraulique de plusieurs mètres. Cette méthode a dû être abandonnée, car les essais ont

montré que la perméabilité du sable et gravier tout-venant n'est pas indépendante de la charge. Sous forte charge, la perméabilité est plus faible que sous faible charge. Une explication de ce phénomène pourrait être que sous forte charge, l'entraînement des particules fines est très violent au début et que très rapidement ces particules s'accumulent dans le bas de la couche filtrante et constituent un « bouillon » dont la perméabilité est relativement faible.

Il a donc fallu renoncer à accélérer le phénomène d'entraînement des éléments fins par augmentation de la charge ; néanmoins, ce phénomène se produit plus rapidement lors des essais en laboratoire que dans les ouvrages en vraie grandeur, par le fait que l'écoulement est permanent, ce qui n'est pas le cas pour un drainage, et que le débit est toujours maximum.

Les résultats de ces cinq essais sont donnés par les figures 5 et 6. La figure 5 donne les débits liquides en fonction du temps et la figure 6 donne les débits solides en fonction du temps pour les essais B, C et D.

Pour l'essai E, les débits solides ont été pratiquement nuls pendant tout l'essai.

Pour l'essai A, ils n'ont été mesurés qu'indirectement, par détermination du poids des matériaux secs placés dans l'appareil avant et après l'essai, et par quelques mesures de courte durée des quantités de matériaux sortis de l'appareil. Ces diverses mesures nous ont conduits à évaluer le débit solide global à 1,5 kg de matériaux en deux mois, soit à 25 g/jour en moyenne.

Les résultats de ces essais permettent de faire les commentaires suivants :

Le débit liquide se stabilise autour d'une valeur moyenne pour tous les essais. Cette stabilisation n'est acquise qu'après 15 jours pour le matériau le plus perméable (essai B). Elle est un peu plus rapide pour les matériaux moins perméables.

Après stabilisation du débit, on observe pour tous les essais (sauf pour l'essai E où les débits solides étaient nuls) des fluctuations aléatoires du débit même au cours d'une journée. Le débit varie dans une proportion sensible et d'autant plus grande que le débit moyen stabilisé est grand. L'explication de ce fait doit être cherchée, semble-t-il, dans la direction suivante : le débit est « commandé » par la concentration des éléments fins au voisinage des trous de la plaque de base de l'appareil (essai A) ou dans la partie inférieure de la couche de sable tout-venant située immédiatement au-dessus de la couche de gravier (essais B, C et D). Les éléments fins s'accumulent et forment barrage ; le débit diminue progressivement et le gradient hydraulique s'accroît dans cette couche limite. Les pressions devenant trop fortes à un moment donné, le barrage formé par les éléments fins cède ; on observe alors un brusque accroissement des débits solides correspondant à une augmentation du débit liquide due à la formation de cavités dans la couche limite. Cette explication est confirmée par l'irrégularité des débits solides.

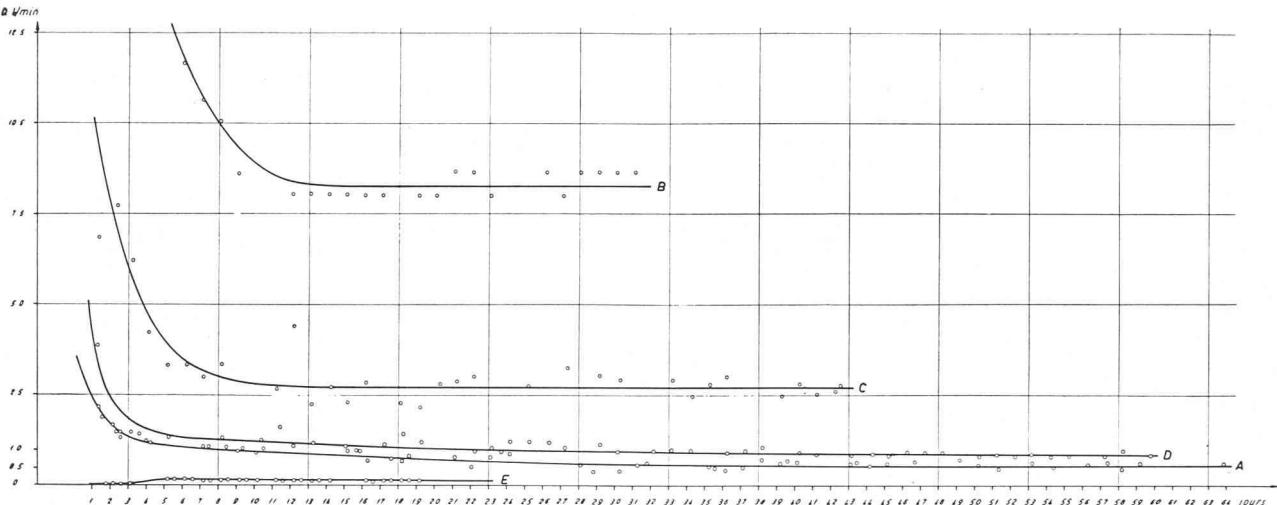


Fig. 5. — Débit liquide à travers les filtres en fonction du temps.

Les valeurs moyennes du débit stabilisé, représentées par les ordonnées des tronçons horizontaux des courbes de la figure 5, permettent de calculer le coefficient de Darcy k global du filtre essayé dans chaque cas :

$$k_{\text{cm/sec.}} = \frac{1000}{60} \frac{h}{H} \frac{Q \text{ l/min}}{\text{S}} = \frac{Q \text{ l/min}}{120}$$

S : section horizontale de l'échantillon essayé (1595 cm^2) ;

H : hauteur de charge au-dessus de l'extrémité aval de l'échantillon (80 cm) ;

h : hauteur de l'échantillon.

Pour les divers essais, on obtient les valeurs suivantes :

Essai n°	Débit $Q \text{ l/min}$	$k \text{ cm/sec.}$
A	0,6	$0,005 = 5 \cdot 10^{-3}$
B	8,25	$0,069 = 6.9 \cdot 10^{-2}$
C	2,7	$0,023 = 2.3 \cdot 10^{-2}$
D	0,95	$0,008 = 8 \cdot 10^{-3}$
E	0,15	$0,001 = 1 \cdot 10^{-3}$

Le débit solide varie fortement au cours des essais. La figure 6 montre que lorsque le débit solide est important, il ne tend pas à diminuer (essais A et B). Par contre, lorsqu'il est faible (essais C et D), il diminue sensiblement.

L'essai A a été exécuté à l'aide des matériaux utilisés dans les tranchées drainantes de l'autoroute et ne constituant qu'une seule couche homogène (filtre simple).

Les essais B, C, D et E, au contraire, correspondent au cas du filtre à double couche.

Ces deux types de tranchées drainantes sont représentés à la figure 7.

L'essai A a montré que dans le cas du filtre simple, l'écoulement à travers le filtre est cause d'entraînements solides importants, qui ne diminuent pratiquement pas

avec le temps. Lors de notre essai, les entraînements n'avaient pratiquement pas diminué après deux mois d'écoulement.

L'essai B a montré que le fait d'intercaler entre le tout-venant et le tuyau de drainage une couche de gravier augmente très fortement la perméabilité de l'ensemble de la tranchée drainante ; mais avec le gravier de 20-30 mm, les entraînements d'éléments solides restent importants. Ils sont même plus importants que dans le cas de filtre simple, du fait que le débit liquide est plus grand.

L'essai C montre que le remplacement du gravier 20-30 mm par du gravier 5-30 mm comme deuxième couche de filtre diminue légèrement la perméabilité de la tranchée drainante par rapport à celle de l'essai B. Les entraînements solides diminuent très sensiblement et tendent même à devenir négligeables après un mois d'essai.

Pour l'essai D, une couche de limon a été posée au-dessus de l'échantillon de l'essai C, ce qui a pour effet de diminuer la perméabilité d'ensemble de l'échantillon. Au début de l'essai, les entraînements solides étaient pratiquement les mêmes qu'à la fin de l'essai C. Deux mois après le début de l'essai D, les entraînements avaient encore diminué de moitié. Le limon n'arrive donc pas à passer à travers le filtre.

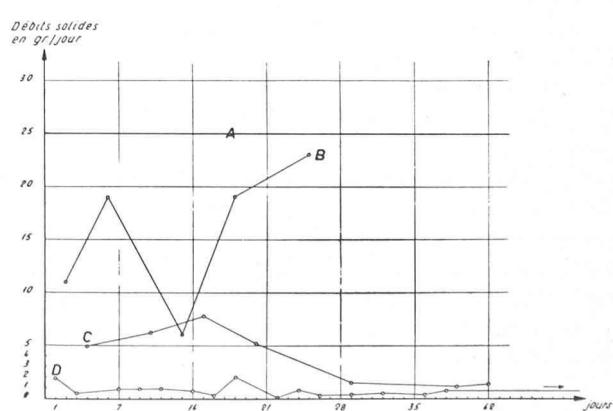


Fig. 6. — Débit solide à la sortie des filtres en fonction du temps.

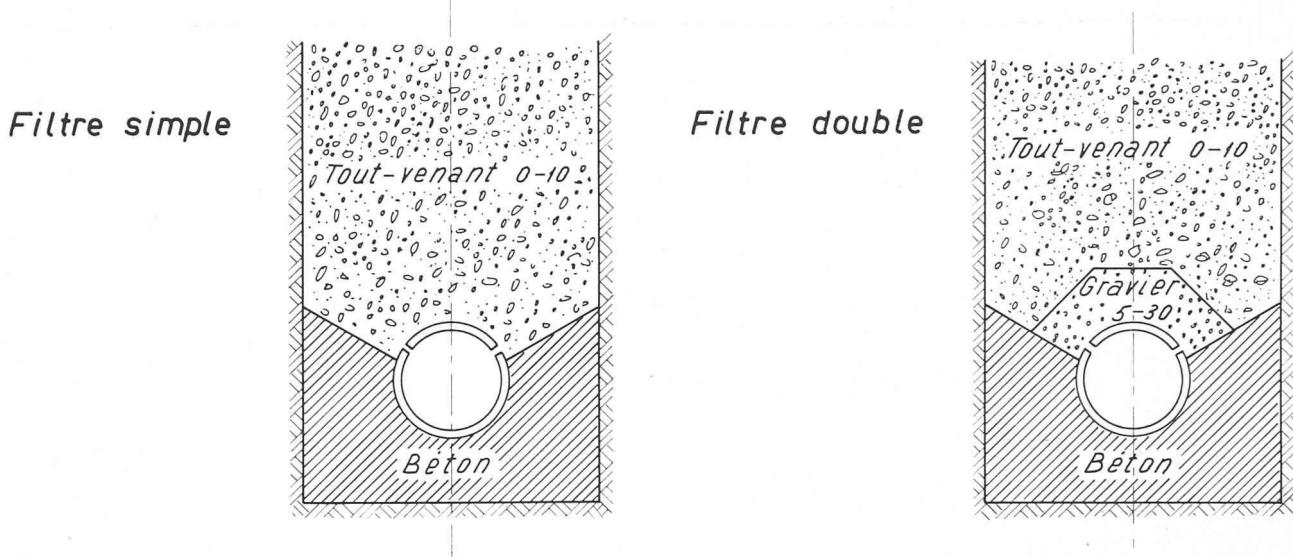


Fig. 7. — Coupes types des tranchées drainantes avec filtres.

L'essai E constitue un double filtre de 24 cm d'épaisseur, comprenant deux couches de gravier gradué l'une de 5-30 mm et l'autre de 0-30 mm. Ce dispositif montre que si l'on remblaye une fouille avec du limon, les tuyaux de drainage étant protégés par un tel double filtre, aucun entraînement ne peut être observé. Il s'agit donc d'un filtre de bonne qualité.

Il faut toutefois remarquer que si la tranchée est remplie de limon, elle ne permet plus l'évacuation des eaux de surface ou provenant de la fondation des chaussées.

IV. Conclusions

Cette étude a montré que l'on ne pouvait pas utiliser un sable et gravier tout-venant (grave) comme seul matériau de remplissage d'une tranchée drainante. Car si la grave est posée directement au-dessus des tuyaux, les grains de sable de la couche inférieure pénètrent dans le tuyau et tendent à le boucher et, d'autre part, les éléments fins se concentrent au voisinage des trous du tuyau de drainage et forment en s'accumulant une couche dont la perméabilité devient très faible.

Les essais ont également montré que le fait de placer entre la grave et le tuyau une couche de gravier a pour effet d'empêcher les deux phénomènes décrits ci-dessus de se produire. Il faut donc constituer le filtre en deux couches.

L'ensemble des résultats obtenus confirment, pour la plupart, les règles données à la norme SNV 70 125 de l'Union suisse des professionnels de la route (Prescriptions de qualité des matériaux pour filtre). La figure 4 montre en effet que le sable tout-venant 0-2 mm utilisé comme couche filtrante du limon dans l'essai D a donné de bons résultats. D'autre part, le gravier 5-30 mm protège efficacement le sable tout-venant dans le même essai, alors qu'au contraire le gravier 20-30 mm, qui ne satisfait pas les règles de la norme SNV 70 125, ne protège pas suffisamment le sable tout-venant 0-2 mm dans l'essai B.

L'essai E a montré qu'un sable et gravier tout-venant 0-30 mm (courbe C de la figure 4) protégeait aussi de façon efficace le limon, bien qu'il ne satisfasse pas complètement les règles de la norme. Toutefois ce

matériau relativement grossier ne protégerait peut-être pas très efficacement un sol naturel de granulométrie un peu plus fine. Il faut donc conseiller d'utiliser comme couche supérieure du filtre un sable et gravier plus fin.

Tous les sols sensibles aux phénomènes d'érosion interne ont des courbes granulométriques voisines de celle du limon qui a été utilisé pour nos essais. C'est le cas, par exemple, des sols découverts sur le tracé de l'autoroute Genève-Lausanne dans la région située entre Luins et Rolle, ainsi que dans la région de la Bourdonnette, près de Lausanne.

Les sols de ce type doivent être protégés par un double filtre si la canalisation de drainage est constituée par des tuyaux perforés. Les deux couches du filtre peuvent être constituées : de gravier 5-30 mm pour la couche en contact avec le tuyau, et de sable et gravier 0-10 mm pour la couche supérieure (fig. 7).

La norme SNV 70 125 prévoit que l'épaisseur de chacune de ces couches doit être de 10 cm au minimum.

De tels filtres ont été réalisés pour de très grandes longueurs de canalisations de drainage, dans le cadre des travaux de construction de l'autoroute Genève-Lausanne. Jusqu'ici ils semblent s'être comportés de façon entièrement satisfaisante au point de vue de la protection des canalisations de drainage, mais il faut encore attendre un certain nombre d'années pour pouvoir dire si, malgré le vieillissement, la qualité des couches filtrantes reste bonne.

Les premiers mois d'observation de ces ouvrages ont par ailleurs permis de constater que si l'on remplit la tranchée drainante complètement avec du tout-venant, sa perméabilité est trop faible pour évacuer les débits qui se produisent pendant les orages. La perméabilité est en effet souvent diminuée par un dépôt superficiel de limon amené par les eaux de ruissellement et qui, ne pouvant pas pénétrer dans le tout-venant, s'accumule à la surface.

Il faut conseiller d'évacuer les eaux de ruissellement de surface par une cunette. Il devient alors inutile de remplir la tranchée avec un matériau filtrant. L'épaisseur du filtre double, placé au-dessus du tuyau perforé, peut être limitée à 20 ou 30 cm, ce qui représente une économie sensible.