

GEOTEXTILES

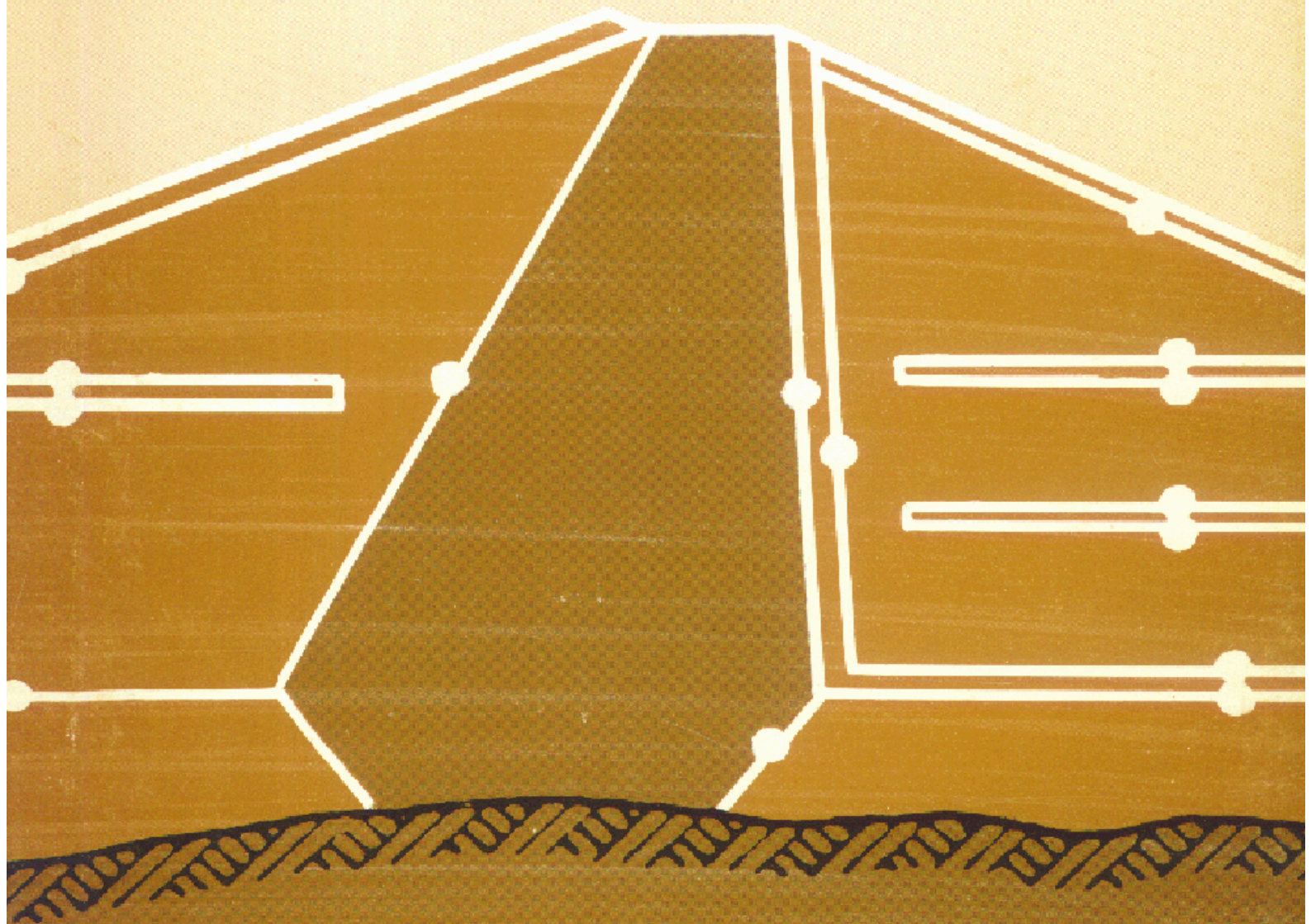
AS FILTERS AND TRANSITIONS IN FILL DAMS

GEOTEXTILES

FILTRES ET TRANSITIONS POUR BARRAGES EN REMBLAI



BULLETIN 55
1986



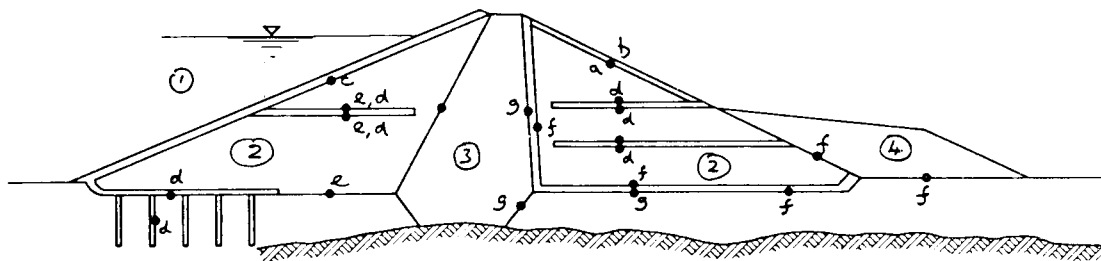


Fig. 1

Coupe transversale schématique d'un barrage en remblai montrant
les endroits où un filtre peut être installé

Schematic cross section of fill dam showing possible filter locations

La couverture est une vue partielle de la Fig. 1.

The cover is a partial view of Fig. 1.

Rapport préparé au nom de BNCOLD
par un Sous-Comité comprenant
MM. F. F. Poskitt (Président), W. J. Carlyle et D. N. W. Earp,
B. M. Sadgrove, Dr P. R. Vaughan et N. Tyler (Secrétaire)
pour le Comité des Matériaux des Barrages en Remblai

*Report prepared on behalf of BNCOLD
by a Sub-Committee including
Messrs F. F. Poskitt (Chairman), W. J. Carlyle and D. N. W. Earp,
B. M. Sadgrove, Dr. P. R. Vaughan and N. Tyler (Secretary)
for the Committee on Materials for Fill Dams*

GEOTEXTILES

AS FILTERS AND TRANSITIONS IN FILL DAMS

GEOTEXTILES

FILTRES ET TRANSITIONS POUR BARRAGES EN REMBLAI



BULLETIN 55
1986

Commission Internationale des Grands Barrages
151, bd Haussmann, 75008 Paris - Tél. : 47 64 67 33 - Télex : 641320 F (ICOLD)

AVERTISSEMENT – EXONERATION DE RESPONSABILITE:

Les informations, analyses et conclusions auxquelles cet ouvrage renvoie sont sous la seule responsabilité de leur(s) auteur(s) respectif(s) cité(s).

Les informations, analyses et conclusions contenues dans cet ouvrage n'ont pas force de Loi et ne doivent pas être considérées comme un substitut aux réglementations officielles imposées par la Loi. Elles sont uniquement destinées à un public de Professionnels Avertis, seuls aptes à en apprécier et à en déterminer la valeur et la portée et à en appliquer avec précision les recommandations à chaque cas particulier.

Malgré tout le soin apporté à la rédaction de cet ouvrage, compte tenu de l'évolution des techniques et de la science, nous ne pouvons en garantir l'exhaustivité.

Nous déclinons expressément toute responsabilité quant à l'interprétation et l'application éventuelles (y compris les dommages éventuels en résultant ou liés) du contenu de cet ouvrage.

En poursuivant la lecture de cet ouvrage, vous acceptez de façon expresse cette condition.

NOTICE – DISCLAIMER :

The information, analyses and conclusions referred to herein are the sole responsibility of the author(s) thereof.

The information, analyses and conclusions in this document have no legal force and must not be considered as substituting for legally-enforceable official regulations. They are intended for the use of experienced professionals who are alone equipped to judge their pertinence and applicability and to apply accurately the recommendations to any particular case.

This document has been drafted with the greatest care but, in view of the pace of change in science and technology, we cannot guarantee that it covers all aspects of the topics discussed.

We decline all responsibility whatsoever for how the information herein is interpreted and used and will accept no liability for any loss or damage arising therefrom.

Do not read on unless you accept this disclaimer without reservation.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE OF CONTENTS

<p>AVANT-PROPOS</p> <p>1. OBJET DU RAPPORT</p> <p>2. EMPLOI DE GÉOTEXTILES DANS LES BARRAGES EN REMBLAI</p> <p>3. GÉOTEXTILES EMPLOYÉS COMME FILTRES DANS LES BARRAGES EN REMBLAI</p> <p>4. PRINCIPES DE FILTRATION</p> <p style="padding-left: 20px;">4.1. Sols intacts non-cohésifs</p> <p style="padding-left: 20px;">4.2. Sol de fondation et densité du filtre</p> <p style="padding-left: 20px;">4.3. Effet du débit inversé et d'une vibration</p> <p style="padding-left: 20px;">4.4. Acceptabilité du mouvement des particules et définition de succès et d'échec dans les essais de filtres</p> <p style="padding-left: 20px;">4.5. Cohésion du sol de fondation</p> <p style="padding-left: 20px;">4.6. Fissures et autres sources de débit concentré</p> <p style="padding-left: 20px;">4.7. Suffosion : la stabilité interne des sols granulaires</p> <p>5. DIFFÉRENCES ENTRE LES FILTRES DE GÉOTEXTILES ET LES FILTRES GRANULAIRES</p> <p style="padding-left: 20px;">5.1. Uniformité</p> <p style="padding-left: 20px;">5.2. Maintien de la continuité</p> <p style="padding-left: 20px;">5.3. Épaisseur</p> <p style="padding-left: 20px;">5.4. Transitions intermédiaires</p> <p>6. DÉTERMINATION DE LA DIMENSION DES OUVERTURES DE GÉOTEXTILES</p> <p>7. DÉTERMINATION DE LA PERMÉABILITÉ TRANSVERSALE DES GÉOTEXTILES</p> <p>8. CRITÈRES DE CONCEPTION POUR DES FILTRES EN GÉOTEXTILES</p> <p>9. EXIGENCES DE PERMÉABILITÉ DES FILTRES</p>	<p>5</p> <p>6/7</p> <p>8/9</p> <p>12/13</p> <p>16/17</p> <p>16/17</p> <p>16/17</p> <p>18/19</p> <p>18/19</p> <p>18/19</p> <p>20/21</p> <p>20/21</p> <p>24/25</p> <p>24/25</p> <p>24/25</p> <p>26/27</p> <p>28/29</p> <p>32/33</p> <p>34/35</p> <p>44/45</p>	<p>FOREWORD</p> <p>1. SCOPE</p> <p>2. THE USE OF GEOTEXTILES IN FILL DAMS</p> <p>3. GEOTEXTILES AS FILTERS IN FILL DAMS</p> <p>4. PRINCIPLES OF FILTRATION</p> <p style="padding-left: 20px;">4.1. Intact non-cohesive soils</p> <p style="padding-left: 20px;">4.2. Base soil and filter density</p> <p style="padding-left: 20px;">4.3. Effect of reversing flow and vibration</p> <p style="padding-left: 20px;">4.4. Acceptability of particle movement and definition of success and failure in filter tests</p> <p style="padding-left: 20px;">4.5. Base soil cohesion</p> <p style="padding-left: 20px;">4.6. Cracks and other sources of concentrated flow</p> <p style="padding-left: 20px;">4.7. Suffosion : the internal stability of granular soils</p> <p>5. DIFFERENCES BETWEEN GEOTEXTILE FILTERS AND GRANULAR FILTERS</p> <p style="padding-left: 20px;">5.1. Uniformity</p> <p style="padding-left: 20px;">5.2. Maintenance of continuity</p> <p style="padding-left: 20px;">5.3. Thickness</p> <p style="padding-left: 20px;">5.4. Intermediate transitions</p> <p>6. MEASURING THE OPENING SIZES OF GEOTEXTILES</p> <p>7. MEASURING THE TRANSVERSE PERMEABILITY OF GEOTEXTILES</p> <p>8. FILTER DESIGN CRITERIA FOR GEOTEXTILES</p> <p>9. PERMEABILITY REQUIREMENTS FOR FILTERS</p>
---	---	--

10. GÉOTEXTILES EN TANT QUE SURFACES POSSIBLES DE CISAILLEMENT	50/51	10. GEOTEXTILES AS POSSIBLE SHEAR SURFACES
11. PROBLÈMES DE CONSTRUCTION ET EXIGENCES DE RÉSISTANCE	52/53	11. CONSTRUCTION PROBLEMS AND STRENGTH REQUIREMENTS
11.1. Propriétés mécaniques et essais	52/53	11.1. Mechanical properties and tests
11.2. Pose et recouvrement du textile	52/53	11.2. Laying and covering of fabric
11.3. Consolidation et activité sismique	56/57	11.3. Consolidation and seismic activity
12. DURABILITÉ DES GÉOTEXTILES	60/61	12. DURABILITY OF GEOTEXTILES
13. CONCLUSIONS	64/65	13. CONCLUSIONS
RÉFÉRENCES	66	REFERENCES
FIGURES	75	FIGURES
ANNEXES	81	APPENDICES

AVANT-PROPOS

La préparation d'un rapport sur les « Nouveaux matériaux pour filtres » a été confiée au sous-comité sur les matériaux pour barrages en remblai de BNCOLD par le Comité sur les matériaux de la CIGB; ce rapport est essentiellement une revue des connaissances actuelles tirée de l'information disponible provenant en particulier de certains comités nationaux de la CIGB ainsi que de différents spécialistes et organismes de recherche.

Vu l'emploi grandissant des géotextiles en génie civil et en l'absence d'autres renseignements, nous avons pensé qu'il était préférable de s'en tenir à l'étude des géotextiles utilisés comme filtres plutôt qu'au domaine plus vaste des « nouveaux matériaux ».

Les buts de ce rapport sont les suivants : examiner les possibilités d'emploi des géotextiles comme filtres dans les barrages en remblai, présenter les informations recueillies sur d'autres usages, et enregistrer les données relatives aux barrages où des filtres de géotextiles ont été installés. A cette fin, le sous-comité a examiné la littérature existante et a distribué un questionnaire aux Comités nationaux de la CIGB représentés au Comité des matériaux ainsi qu'à d'autres autorités. Nous remercions tous ceux qui ont collaboré en fournissant des informations, par réponse au questionnaire ou autrement.

FOREWORD

The task of producing a report on " New Materials for Filters " was given to the BNCOLD Sub-Committee on Materials for Fill Dams by the ICOLD Materials Committee, and the report is essentially a state-of-the-art review drawing upon available information, particularly from certain constituent national committees of ICOLD, as well as various specialists and research bodies.

In view of the growing use of geotextiles in civil engineering and absence of other information, it was thought appropriate to confine the report to consideration of geotextiles used as filters, rather than to the broader field of " new materials ".

The aims of the report are to review considerations for the use of geotextiles as filters in fill dams, to present relevant data gained from other uses, and to record data from dams where geotextile filters are known to have been installed. To achieve these aims the sub-committee has reviewed existing literature, and has circulated a questionnaire to the national committees of ICOLD represented on the Materials Committee and other authorities. The assistance of those who provided information via the questionnaire or through other contacts is gratefully acknowledged.

1. OBJET DU RAPPORT

Les usages possibles de géotextiles dans les barrages peuvent être répartis comme suit : les moyens de construction et les usages permanents. Les moyens de construction comprennent les usages suivants :

- Routes de transport temporaires.
- Protection temporaire de l'évacuateur.
- Drainage du remblai pour accélérer la consolidation.
- Maintien du filtre ou du drain au profil désiré.

De tels usages pour les géotextiles ne sont pas essentiels aux fonctions principales des barrages.

Les usages permanents peuvent être subdivisés comme suit : ceux où le géotextile peut être remplacé de façon relativement simple et ceux où le remplacement serait impraticable; ces usages sont les suivants :

Mince couche de protection du parement amont	}	Remplacement praticable
Mince couche de protection du parement aval		
Enveloppe du drain de pied		
Routes permanentes ou remblais	}	Remplacement impraticable
Armature du sol de remblais		
Séparation des matériaux et filtration des :		
Drains dans le corps du barrage		
Drains dans la base du remblai		

Sauf lorsqu'il s'agit d'utilisation pour les routes permanentes en crête et pour l'armature du sol, tous les usages permanents dans les barrages combinent les fonctions de séparation et de filtration; ce rapport traite principalement de l'utilisation des géotextiles dans ces domaines.

1. SCOPE

The potential uses of geotextiles in dams may be divided into construction expedients and permanent uses. Construction expedients include use for :

- Temporary haul roads.
 - Temporary spillway protection.
 - Drainage of fill to speed consolidation.
 - Constraining filter or drainage media to desired profile.
- Such uses of geotextiles are not critical to the primary functions of dams.

Permanent uses may be sub-divided into those where the geotextile can be replaced relatively simply and those where replacement would be impracticable and include uses for :

- | | | |
|--|---|---------------------------|
| Thinly covered upstream slope protection | } | Replacement practicable |
| Thinly covered downstream slope protection | | |
| Wrappings to downstream toe drainage | | |
| Permanent roads or embankments | } | Replacement impracticable |
| Soil reinforcement in embankments | | |
| Separation of materials, and filtration of : | | |
| Drains in body of dam | | |
| Drains in embankment seat. | | |

With the exception of use for permanent crest roads and soil reinforcement, all permanent uses in dams combine the functions of separation and filtration, and this Report concentrates on the ability of geotextiles to perform these functions.

2. EMPLOI DE GÉOTEXTILES DANS LES BARRAGES EN REMBLAI

Fayoux (1981) décrit les principales fonctions de géotextiles en génie civil comme suit :

- (i) Séparation et anti-contamination.
 - (ii) Filtration.
 - (iii) Drainage.
 - (iv) Renforcement mécanique.
- (i) La séparation et l'anti-contamination peuvent impliquer la filtration mais impliquent également la résistance aux efforts imposés par le chargement.
- (ii) La filtration est la prévention de la migration des particules d'un sol de base dans un filtre sous les forces d'entraînement imposées aux particules par l'écoulement de l'eau. L'inversion de ces forces lorsque le débit se renverse doit être envisagée dans certaines situations.
- (iii) Le drainage permet la perméabilité dans le plan du géotextile même, de sorte qu'il agisse à la fois comme filtre lorsque le débit d'eau le traverse et comme drain lorsque l'eau s'écoule le long du géotextile. Un tel usage combiné de filtre et de drain n'a à ce jour été réalisé que pour de petits remblais (hauteur maximum d'environ 10 m). L'exigence d'une grande résistance sous une contrainte latérale élevée, ce qui est le cas des barrages, est sévère. Des études théoriques ont été réalisées relativement à l'emploi de géotextiles comme tapis drainants horizontaux pour accélérer la consolidation d'un remblai humide pendant la construction (Bourdillon, 1975; Auriault, Borne et Cordary, 1982). Une grande perméabilité latérale est nécessaire, indiquant que des géotextiles en forme de sandwich sont nécessaires, tels que ceux employés derrière des murs de soutènement. La perméabilité latérale peut être très sensible à la pression normale selon la structure particulière du géotextile. Hunt (1982) donne des informations sur la perméabilité et le changement dans la perméabilité avec les contraintes, pour trois de ces matériaux utilisant des gradients hydrauliques unitaires. Le taux d'écoulement du premier drain est cité comme diminuant de 10,4 l/s à 1,1 l/s lorsque la pression normale est élevée de zéro à 50 kPa; on signale que le deuxième subit une baisse de taux d'écoulement de 0,5 l/s à 0,4 l/s lorsque la pression normale est élevée à 100 kPa; on rapporte que le taux d'écoulement de 0,43 l/s du troisième n'est pas altéré sous des pressions normales allant jusqu'à environ 95 kPa. Aucun renseignement n'est donné concernant la perte de perméabilité à des contraintes normales plus élevées typiques des grands remblais. On peut également se référer à Gibson et Shefford (1968), Giroud (1983) et à Sills (1974) pour d'autres études concernant les exigences de perméabilité pour des couches de drainage horizontales, et à Gourc, Faure, Rollin et Lafleur (1982) qui ont fourni les valeurs de perte de perméabilité sous pression jusqu'à 2000 kPa. Des lanières de géotextiles ont été installées très souvent comme drains « mèches » verticaux pour accélérer la consolidation des argiles molles. Elles n'ont pas à agir comme drains permanents qui interceptent l'infil-

2. THE USE OF GEOTEXTILES IN FILL DAMS

Fayoux (1981) describes the main functions of geotextiles in civil engineering as :

- (i) Separation and anticontamination.
 - (ii) Filtration.
 - (iii) Drainage.
 - (iv) Mechanical reinforcement.
- (i) Separation and anticontamination may involve filtration, but also involve resistance to stresses due to loading.
 - (ii) Filtration is the prevention of migration of the particles of a base soil into a filter under the drag forces imposed on the particles by flowing water. Reversal of these forces if the flow reverses must be considered in some situations.
 - (iii) Drainage is the provision of permeability along the plane of the geotextile itself so that it acts both as a filter as the water flow enters it, and as a drain as the water flows along it. The use of such a combined filter and drain has so far been limited to small embankments (maximum height about 10 m). The requirement of high capacity at a high lateral stress typical in a dam is severe. Theoretical studies have been made of the use of geotextiles as horizontal drain layers to accelerate the consolidation of wet fill during construction (Bourdillon, 1975; Auriault, Borne and Cordary, 1982). A high lateral permeability is required, indicating that a geotextile constructed as a sandwich is needed, such as those used behind retaining walls. Depending on the particular geotextile structure, the lateral permeability may be very sensitive to normal pressure. Hunt (1982) gives information on the permeability and the change in permeability with stress for three such materials at hydraulic gradients of unity. The flow rate of one drain is quoted as reducing from 10.4 l/s to 1.1 l/s as the normal pressure is raised from zero to 50 kPa; another is reported to suffer a drop in flow rate of from 0.5 l/s to 0.4 l/s as the normal pressure is raised to 100 kPa; the third is said to have its flow rate of 0.43 l/s unimpaired under normal pressures of up to about 95 kPa. No information is given concerning loss of permeability at the higher normal stresses typical of large embankments. Reference may also be made to Gibson & Shefford (1968); Giroud (1983) and Sills (1974) for other studies of the permeability requirements for horizontal drainage layers and to Gourc, Faure, Rollin and Lafleur (1982) who have furnished values of loss of permeability under stresses up to 2 000 kPa. Strips of geotextiles have been installed quite extensively as vertical "wick" drains to accelerate the consolidation of soft clays. They need not act as permanent drains intercepting flow from the reservoir, and, provided this is ensured, standard methods of design can be used for "wicks" installed below water retaining embankments.

tration à partir du réservoir et, pourvu que ceci soit assuré, les méthodes standards de conception peuvent être employées pour les « mèches » installées sous des remblais servant à retenir l'eau.

- (iv) Le renforcement mécanique consiste dans l'emploi d'un géotextile qui fournira une résistance additionnelle au système composite sol-textile et à la surface de contact entre la fondation et le remblai. C'est une technique bien établie convenant à des structures basses plutôt qu'à des remblais élevés tels que les barrages, et qui est en dehors de l'objet de ce rapport. Le renforcement à l'aide de géotextile a été employé pour un remblai déversant (Kern, 1977).

Les contraintes cycliques imposées lors de l'épandage et du compactage d'une couche de remblai par-dessus un autre sol dont les pores sont de dimensions passablement différentes peuvent causer la pénétration du sol plus fin dans le sol plus grossier, même lorsqu'aucune rupture de cisaillement ne survient pour mélanger physiquement les deux et qu'il n'existe pas de gradient hydraulique. Une couche de séparation de géotextile peut prévenir ceci, et fournir également un certain renforcement local contre la rupture au cisaillement sous des charges de trafic qui peuvent être une donnée permanente du projet, comme dans les fondations de routes et de chemins de fer. Dans les barrages en remblai, ce rôle sera vraisemblablement temporaire et impliquera habituellement la mise en place d'un sol à grains grossiers sur un sol meuble plus fin, sans mélange inacceptable ni contamination. Si le sol grossier est adéquat comme filtre et drain pour la situation dans laquelle il est placé, le rôle du géotextile cesse une fois que la couche grossière est mise en place et recouverte. Cependant, la présence continue du géotextile ne doit pas altérer la performance du sol grossier comme drain filtre et ainsi doit conserver une perméabilité qui se trouve entre celles du sol grossier et du sol fin.

La fonction permanente d'un géotextile dans un remblai comporte généralement la filtration. Les principes de calcul employés pour la filtration seront discutés ultérieurement. La performance du filtre par rapport à la sécurité et au comportement satisfaisant d'un barrage peut être reliée à la nature et à la durée du débit contre lequel une protection est nécessaire, à l'importance de la rupture du filtre pour la sécurité de l'ouvrage, et à la facilité de réparation en cas de rupture. La prudence dans la conception doit refléter une telle observation. Ceci doit être fait dans chaque cas particulier, et nécessite du jugement de la part du projeteur. Une telle remarque peut avoir un intérêt particulier lorsqu'un matériau relativement nouveau et qui n'a pas encore fait ses preuves, tel qu'un géotextile, est étudié pour son utilisation dans un barrage. Des applications possibles de géotextile comme filtres dans des barrages en remblai sont données au Tableau 1 ; les emplacements possibles pour ceux-ci sont indiqués Fig. 1. Des exemples de leur utilisation sont montrés Fig. 2 - 9.

Il y a des interfaces dans les barrages en remblai où les principes de filtration sont fréquemment appliqués, mais où le mouvement des particules ne peut être provoqué par un débit hydraulique. Par exemple, un débit ascendant, de la fondation aval vers un drain ou un remblai perméable, peut comporter des gradients hydrauliques beaucoup trop faibles pour que les particules soient déplacées contre la force de gravité. Il n'est pas nécessaire d'appliquer les critères des filtres conventionnels à de telles interfaces. Le succès de l'emploi de géotextiles à de telles interfaces, où les efforts hydrauliques sont très faibles, et où l'interface pourrait bien être stable sans l'emploi du géotextile, ne peut être retenu pour démontrer que les géotextiles conviennent à des interfaces soumises à des conditions d'écoulement sévères. Ainsi, l'expérience doit être interprétée avec prudence.

- (iv) Mechanical reinforcement is the use of a geotextile to provide additional strength to the composite soil-fabric system and in the area of embankment and foundations contact. It is a well established technique suitable for low structures rather than large embankments such as dams, and is outside the scope of this report. Geotextile reinforcement has been used in an overflow embankment (Kern, 1977).

The cyclic stresses imposed by plant spreading and compacting a layer of fill over another soil of significantly different pore size may cause penetration of the finer soil into the coarser, even where no shear failure occurs to physically mix the two and when no hydraulic gradient is present. A separating layer of geotextile can prevent this occurring, and will also provide some local reinforcement against shear failure under traffic loads, which may be a permanent design function, as in the bases of roads and railroads. In embankment dams the function is likely to be temporary and will usually involve the placement of a coarse-grained soil on a soft finer one without unacceptable mixing and contamination. If the coarse soil is adequate as a filter and drain in the situation in which it is placed, the function of the geotextile ceases once the coarse layer is placed and "buried". However, the continued presence of the geotextile must not impair the performance of the coarse soil as a filter drain, and thus it should retain a permeability intermediate between those of the coarse and fine soils.

The permanent function of a geotextile in an embankment is likely to involve filtration. The design principles involved in filtration are discussed subsequently. The extent to which filter performance is critical to the safety and satisfactory performance of a dam can be related to the nature and duration of the flow against which protection is required, the extent to which failure of the filter is critical to the safety of the structure, and the practicability of repair if failure occurs. Conservatism in design should reflect such an assessment. It should be made in each individual case and involves judgment on the part of the designer. Such an assessment may be of particular value where a relatively new and unproven material such as a geotextile is considered for use in a dam. Potential applications of geotextiles as filters in fill dams are given in Table 1 and typical interfaces for them are indicated Fig. 1. Examples of their use are shown Fig. 2 - 9.

There are interfaces in typical embankment dams where filtration principles are frequently applied, yet where particle movement cannot be induced by hydraulic flow. For instance, flow upward from a downstream foundation into a drain or permeable fill may involve hydraulic gradients much too low for particles to be moved against the restraint of gravity. Conventional filter design criteria need not be applied at such interfaces. Equally, the successful use of geotextiles at such interfaces, or where hydraulic stresses are very low, or where the interface might well have been stable without the use of the geotextile, cannot be used to demonstrate the suitability of geotextiles at interfaces subject to severe flow conditions. Thus experience needs to be interpreted with caution.

3. GÉOTEXTILES EMPLOYÉS COMME FILTRES DANS LES BARRAGES EN REMBLAI

Les applications possibles de géotextiles comme filtres dans les barrages en remblai sont données au Tableau 1 et les emplacements possibles des filtres sont montrés à la Fig. 1. En plus de son comportement comme membrane filtrante, un géotextile utilisé dans un barrage doit conserver sa continuité et ses caractéristiques nécessaires, non seulement pendant sa mise en place, mais aussi longtemps que sa fonction est nécessitée par le projet. Ceci exige que :

1. Il doit pouvoir être étendu sans dommage, ou avec des défauts acceptables, et avec des joints adéquats. Il doit pouvoir être fixé aux pentes sur lesquelles il est mis en place, sans trop de difficulté.
2. Il doit résister aux défauts lorsqu'il a été recouvert.
3. Il doit tolérer les déformations qui lui sont imposées par les pressions dans le remblai environnant, sans déchirures ni changements inacceptables dans ses caractéristiques de conception. De telles pressions surviendront pendant la construction et ultérieurement, par exemple, lors des efforts dans un tremblement de terre. L'importance d'un bon comportement lors d'un tremblement de terre peut dépendre de l'importance de la rupture qui entraînerait des conséquences catastrophiques, de la facilité avec laquelle les dégâts peuvent être constatés après le tremblement de terre et de la facilité avec laquelle ils peuvent être réparés.
4. Il ne devra pas se détériorer de façon inacceptable après la mise en place par suite de l'instabilité inhérente aux matériaux avec lesquels il est fabriqué, d'une agression chimique, ou de l'exposition à d'autres causes d'altération.
5. Il devra résister aux dommages provoqués par les rongeurs ou la pousse des racines.

Les critères 1 et 2 seront fonction de la résistance à la traction et de la résistance au déchirement et au poinçonnement. Le critère 3 sera fonction des propriétés de contrainte/déformation en tension du géotextile, prenant en compte le taux de chargement, et le critère 4 sera fonction de la stabilité physique et chimique de tous les composants du géotextile.

Une certaine détérioration est inévitable avec le temps et on peut l'accepter si elle est prévue dans le projet. Les matériaux de remblai naturels, le béton et l'acier normalement employés dans la construction des barrages ne sont pas à l'abri d'une détérioration à long terme, et la durée des matériaux thermoplastiques dans un environnement favorable peut être comparable. Cependant, la période relativement courte pendant laquelle les thermoplastiques ont été disponibles, et sont en usage dans le génie civil, signifie que l'expérience, à partir de laquelle un comportement à long terme peut être estimé, est limitée. Une difficulté particulière peut résider dans la perte de ductilité avec le temps, lorsque le filtre doit être conçu de façon telle qu'il résiste aux déformations soudaines dues à des tremblements de terre pouvant se produire n'importe quand pendant l'existence d'un barrage.

3. GEOTEXTILES AS FILTERS IN FILL DAMS

Possible applications of geotextile as filters in fill dams are given in Table 1 and the possible filter locations are shown in Figure 1. In addition to acting as a filter membrane, a geotextile used in a dam should retain its continuity and required properties during placement and for as long afterwards as its design function is needed. This requires the following :

1. It must be laid without damage, or with acceptable damage, with adequate joints. It must be secured on slopes on which it is placed without too much difficulty.
2. It must resist damage when subsequently covered.
3. It must accept strains imposed on it by strains in the surrounding fill without tearing or unacceptable changes in its design characteristics. Such strains will arise during construction and subsequently, for instance, due to earthquake loading. The importance of adequate performance during earthquake may depend on the extent to which failure may have catastrophic consequences, the ease with which damage can be examined post-earthquake and the ease with which it can be repaired.
4. It should not degrade unacceptably after placement as a result of inherent instability of the materials from which it is made, chemical attack or exposure to other " weathering " effects.
5. It should resist damage by rodents or root growth.

Criteria 1 and 2 will be a function of tensile strength and resistance to tearing and puncturing. Criterion 3 will be a function of the tensile stress/strain properties of the geotextile, taking rate of loading into account, and criterion 4 will be a function of the inherent physical and chemical stability of all the components of the geotextile.

Some deterioration with time is inevitable and can be accepted if it is foreseen within the design. Natural fill materials and concrete and steel normally used in dam construction are not immune to long-term deterioration, and the durability of thermoplastic materials in a benign environment may be comparable. However, the relatively short time in which thermoplastics have been available and in use in civil engineering means that experience from which long-term performance can be assessed is limited. A particular difficulty may lie in the loss of ductility with time, if the filter must be designed against sudden strains due to earthquakes which can occur at any time during the life of the dam.

Une exposition répétée d'un géotextile à des températures atteignant le point de congélation ou sous le point de congélation peut réduire sensiblement sa résistance et sa ductilité. De plus, lorsqu'il est submergé dans de l'eau gelée, il est peu probable qu'il résiste à des déformations importantes. Ainsi lorsque, dans un climat froid, un géotextile est utilisé dans un endroit critique d'un barrage, il doit être protégé contre la glace ou bien la structure doit être conçue de façon telle qu'il ne soit pas sujet à des déformations importantes.

Une des difficultés des projets de transitions placées dans un remblai servant de retenue d'eau, réside dans le fait que leur comportement ne peut pas être contrôlé en place. Des signes de détérioration peuvent se manifester seulement après que des dommages considérables se soient produits et, dans des sols facilement érodables, une rupture due à l'érosion interne se développe rapidement. Ainsi, une extrême prudence est nécessaire dans la conception de transitions soumises à l'infiltration continue de l'eau d'un réservoir.

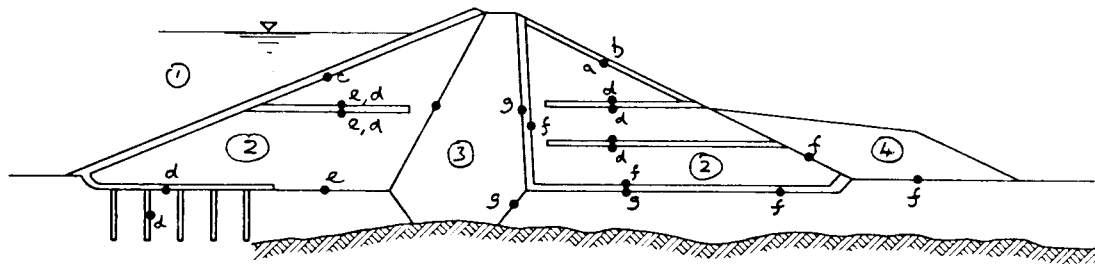


Fig. 1

Coupe transversale schématique d'un barrage en remblai montrant les endroits où un filtre peut être installé

Schematic cross section of fill dam showing possible filter locations

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| (1) Réservoir. | (1) Reservoir. |
| (2) Remblai. | (2) Fill. |
| (3) Noyau. | (3) Core. |
| (4) Remblai granulaire. | (4) Granular fill. |

Note : Voir Tableau 1 pour la description de l'emplacement du filtre et du but du filtre.
Refer to Table 1 for description of filter location and purpose of filter.

Repeated exposure of a geotextile to temperatures at or below freezing point may appreciably reduce its strength and ductility. Moreover, when submerged in water which is frozen, it is unlikely to resist large deformations. Therefore, when a geotextile is used at a critical location in a dam in a cold climate, the geotextile should be protected from freezing water or the structure should be so designed that the geotextile is not subject to large strains.

A difficulty in the design of transitions in any water-retaining embankment is that their performance cannot be monitored in-situ. Signs of deterioration may, at least, become visible only after considerable damage has occurred, and, in easily eroded soils, failure by internal erosion develops rapidly. Thus considerable caution is required in the design of transitions which are subject to continuous seepage from impounded water.

4. PRINCIPES DE LA FILTRATION

La filtration implique l'établissement d'une interface stable entre un sol fin (le sol de base) et un sol grossier ou un géotextile (le filtre) lorsque cette interface est soumise à un écoulement, à partir du sol de fondation vers le filtre ou parallèle à l'interface, et suffisant pour causer la migration des particules. Un certain mouvement des particules les plus fines du sol de base vers le filtre peut se produire avant que des conditions stables ne s'établissent, mais l'ampleur de ce mouvement doit être acceptable et le sol fin qui pénètre à l'intérieur du filtre pendant cette phase transitoire ne doit pas altérer de façon inacceptable la fonction de drainage du filtre. Un certain nombre de facteurs sont en jeu, tels que la présence ou l'absence de cohésion dans les sols de base, la densité du sol de fondation et du filtre qui sera partiellement contrôlée par l'action des contraintes effectives normales, la possibilité d'inversion du débit aux limites, et la possibilité que le sol de fondation à protéger puisse contenir des fissures ouvertes ou d'autres passages permettant un débit concentré, une érosion locale, et le transport de matériaux à partir du sol de base. La stabilité interne du sol de base soumis à écoulement doit aussi être considérée. Certains de ces facteurs sont maintenant examinés.

4.1. SOLS NON-COHÉSIFS INTACTS

L'action de filtre comporte un filtre dont les pores ont une dimension continue maximum suffisamment petite pour qu'au moins certaines des particules du sol de fondation ne puissent le traverser. Ces particules sont arrêtées à l'interface ou à proximité de celle-ci. Le colmatage des pores du filtre par des particules migratoires progressivement plus petites, ultérieurement appelé l'auto-filtration, peut alors conduire à la stabilité. Des particules du sol de fondation peuvent aussi agir comme voûte entre les pores du filtre. L'auto-filtration conduira à la perte de fines d'une zone du sol de base adjacente au filtre et une accumulation de ces fines dans une zone du filtre adjacente au sol de fondation. L'ampleur du mouvement des particules dépendra de la relation initiale entre la granulométrie du sol de fondation et la distribution initiale de la dimension des pores dans le filtre qui sera une fonction du compactage et des contraintes. La pénétration des particules dans le filtre a été étudiée théoriquement, par exemple, par Lawson (1982), Silveira (1965), Thanika-chalam et Sakthirvadivel (1975) et Wittmann (1979, 1982).

L'auto-filtration dans le sol de base est un mécanisme complexe et les circonstances dans lesquelles elle ne se produit pas ne sont pas entièrement expliquées. Ce problème est étudié plus en détail dans les chapitres suivants.

4.2. DENSITÉ DU SOL DE BASE ET DU FILTRE

Une densité plus grande améliorera les caractéristiques à la fois du sol de base et des filtres. Même si un bon compactage est conseillé à toute interface, il est difficile de garantir que des densités élevées (ou des contraintes normales élevées)

4. PRINCIPLES OF FILTRATION

Filtration involves the establishment of a stable interface between a fine soil (the base soil) and a coarse soil or geotextile (the filter) when this interface is subject to flow from the base soil to the filter or parallel to the interface, sufficient to cause particle migration. Some movement of the finer particles of the base soil into the filter may occur before stable conditions develop, but the magnitude of this movement must be acceptable and the fine soil entering the filter during this transient phase must not impair the drainage function of the filter to an unacceptable degree. A number of factors are involved, such as the presence or absence of cohesion in the base soils, the density of the base soil and filter, which will be partly controlled by the normal effective stresses acting, the possibility of reversal of flow at the boundary, and whether the base soil to be protected may contain open cracks or other passages for concentrated flow and local erosion and transport of material from the base soil. The internal stability of the base soil when it is subject to flow must also be considered. Some of these factors are now reviewed.

4.1. INTACT NON-COHESIVE SOILS

Filter action involves a filter with a maximum continuous pore size sufficiently small for at least some of the particles of the base soil to be unable to pass through. These particles are arrested at or close to the filter interface. The plugging of the pores of the filter by progressively smaller migrating particles subsequently called self-filtering may then lead to stability. Particles of the base soil may also arch over the pores of the filter. Self-filtering will lead to loss of fines from a zone of the base soil adjacent to the filter and an accumulation of these fines in a zone of the filter adjacent to the base soil. The amount of particle movement will depend on the initial relationship between the grading of the base soil and the initial pore size distribution in the filter, which will be a function of compaction and stress. The penetration of particles into the filter has been studied theoretically by, for instance, Lawson (1982), Silveira (1965), Thanikachalam and Sakthirvadivel (1975) and Wittmann (1979, 1982).

Self-filtering in the base soil is a complex mechanism and the circumstances in which it may break down are not fully understood. This problem is considered further in subsequent sections.

4.2. BASE SOIL AND FILTER DENSITY

Increased densities will improve the filtration characteristics of both base soil and filters. Although good compaction at any interface is desirable, it is difficult to ensure that high densities (or high normal stresses) will be maintained at all points

seront maintenues partout dans toutes les conditions de construction et d'exploitation. Ainsi, il n'est pas avisé de toujours compter lors du projet de la transition sur des densités et/ou des contraintes normales élevées.

4.3. EFFET DU DÉBIT INVERSÉ ET D'UNE VIBRATION

De nombreuses expériences (par exemple, pour les filtres granulaires, Dept. of Army, U.S. Corps of Engineers, 1953; Belyashveskii *et al.*, 1972; Molenkamp *et al.*, 1979; et pour les filtres de géotextiles, Ragutzki, 1973; Ogink, 1975; Zitscher, 1975; Schober et Teindl, 1979; Heerten, 1981, 1982) ont démontré qu'un débit inversé et une vibration appliquée extérieurement peuvent inhiber substantiellement le mécanisme d'auto-filtration. Une plus grande prudence est requise dans la conception des filtres pour faire face à ces situations. Les règles de conception en tiennent compte, comme on peut le constater ci-après.

4.4. ACCEPTABILITÉ DU MOUVEMENT DES PARTICULES ET DÉFINITION DE SUCCÈS ET D'ÉCHEC DANS LES ESSAIS DE FILTRES

L'ampleur acceptable du mouvement des particules avant qu'une interface stable ne soit établie est matière de jugement pour chaque cas particulier. Ceci rend énormément difficile l'établissement de critères définis de succès ou d'échec des essais conduits sur des combinaisons filtre/sol de base, en particulier lorsque des filtres granulaires sont impliqués. Ceux-ci dépendront nécessairement en premier lieu des observations visuelles lors de l'essai. L'absence de critères absolus de succès ou d'échec est probablement une raison majeure du large éventail de règles de conception des filtres proposés.

4.5. COHÉSION DU SOL DE FONDATION

Entre les particules fines présentes dans les sols cohésifs existent des forces d'attraction intergranulaires significatives. Celles-ci donnent à un tel sol une légère résistance à la traction en termes de contrainte effective, et lui permettent de former des voûtes entre les pores d'un filtre (Davidenkof, 1955; Zaslavsky et Kassif, 1965).

On peut observer de telles forces entre les particules de silt de dimensions moyennes à fines (Mantz, 1977). Elles ont une importance particulière lorsqu'elles se trouvent entre des particules d'argile. Des règles pour filtres basées sur le besoin d'arrêter la migration des particules individuelles, telles que celles établies pour des sols non cohésifs ne sont pas applicables aux sols cohésifs intacts. Un filtre qui possède des pores considérablement plus grands que ceux prévus par de telles règles peut être employé.

De telles forces dépendent de la relation chimique sol/eau du sol de base et de l'eau d'infiltration. On ne peut compter nécessairement sur la formation de voûtes au-dessus des pores du filtre grâce à la résistance à la traction d'un sol cohésif lorsque la relation chimique entraîne la dispersion (Aicheson et Wood, 1965; Craft et Acciardi, 1984 et Sherard et Decker, 1977).

under all conditions of construction and operation. Thus it is unwise to base transition design on the expectation that high densities and/or normal stresses will always operate.

4.3. EFFECT OF REVERSING FLOW AND VIBRATION

Numerous experiments (for instance, for granular filters, Dept. of Army, US Corps of Engineers, 1953; Belyashveskii *et al.*, 1972; Molenkamp *et al.*, 1979; and, for geotextile filters, Ragutzki, 1973; Ogink, 1975; Zitscher, 1975; Schober and Teindl, 1979; Heerten, 1981, 1982) have shown that reversing flow or externally applied vibration can substantially inhibit the self-filtering mechanism. Much more caution is required in designing filters to deal with these situations. This is reflected in design rules as discussed subsequently.

4.4. ACCEPTABILITY OF PARTICLE MOVEMENT AND DEFINITION OF SUCCESS AND FAILURE IN FILTER TESTS

The amount of particle movement which can be accepted before a stable interface is established is a matter for judgment in any particular case. This leads to considerable difficulty in establishing definite criteria for success or failure in tests conducted on filter/base soil combinations, particularly where granular filters are involved. These will necessarily depend primarily on visual observations during the test. The absence of absolute criteria for success or failure is probably a major cause of the wide range of filter design rules which have been presented.

4.5. BASE SOIL COHESION

There are significant interparticle attractive forces between the fine particles present in cohesive soils. These give such a soil a small tensile strength in terms of effective stress, and allow it to bridge over the pores of a filter (Davidenkof, 1955; Zaslavsky and Kassif, 1965).

Such forces are observable in particles of medium silt size and finer (Mantz, 1977). They are of particular significance between clay mineral particles. Filter rules based on the need to arrest the migration of individual particles such as have been developed for non-cohesive soils are not applicable to intact cohesive soils. A filter with pores considerably larger than predicted by such rules can be used.

Such forces depend on the soil-water chemistry of the base soil and the seeping water. Where this chemistry leads to dispersion (Aicheson and Wood, 1965; Craft and Acciardi, 1984 and Sherard and Decker, 1977) the bridging of filter pores by the tensile strength of a cohesive soil cannot necessarily be relied upon.

Une méthode pour mesurer l'érodabilité des sols, basée sur l'emploi d'une résistance au cisaillement critique, τ_c , mise au point grâce à l'observation d'un débit hydraulique dans la zone fissurée d'un barrage, a été présentée par Arulanandan et Perry (1983).

4.6. FISSURES ET AUTRES SOURCES DE DÉBIT CONCENTRÉ

La présence possible d'espaces ouverts à l'intérieur du sol de base présente un problème particulier. Ces ouvertures peuvent être érodées à l'intérieur et les débris d'érosion transportés jusqu'à l'interface du filtre. Ceci présente un problème particulier pour la protection des filtres en contact avec des noyaux de barrages pouvant être sujets à la fissuration. L'emploi des géotextiles à cet usage est limité par les problèmes de mise en place dans une interface qui est habituellement en position presque verticale à l'intérieur du barrage et la possibilité de rupture dans le voisinage de la fissure. Hoolingworth et Druyts (1982) donnent un exemple d'un tel usage. List (1982) rapporte l'emploi de géotextiles sur les faces verticales aval de deux noyaux centraux en sol-ciment.

Un sol saturé non cohésif ne peut soutenir une fissure ouverte sans effondrement et auto-fermeture, aussi le problème est prédominant pour les sols de base cohésifs. Les débris d'érosion peuvent être sujets à la ségrégation (Vaughan et Soares, 1982) et on ne peut nécessairement compter sur l'auto-filtration. Des conditions de sol dispersif rendent le problème plus sérieux. On peut noter qu'il n'y a pas d'exemples connus de ruptures dues à l'érosion interne des noyaux de barrages lorsque ceux-ci ont été protégés au moyen d'un filtre de sable moyen ou fin (Sherard, 1979). Néanmoins, la prudence est requise dans la conception des filtres pour assurer la protection des sols cohésifs contre l'érosion interne lorsque ceux-ci peuvent présenter des fissures ouvertes en travers desquelles coule un débit d'eau continu.

Un filtre granulaire non cohésif s'effondre lorsqu'il est imbibé (Vaughan et Soares, 1982). Ainsi, il ne peut soutenir une fissure ouverte et il maintient automatiquement sa continuité si, par exemple, une fissure se forme en amont à travers un noyau cohésif. Un géotextile ne possède pas cette propriété et, si une fissure qui le traverse se forme, la continuité du géotextile sera maintenue seulement si le géotextile peut s'allonger localement pour traverser la fissure.

4.7. SUFFOSION : LA STABILITÉ INTERNE DES SOLS GRANULAIRES

L'écoulement d'eau à travers un sol peut quelquefois amener une migration continue de particules fines, un processus souvent décrit comme de la suffosion. Ceci peut survenir lorsqu'un sol granulaire grossier contient des vides remplis partiellement seulement de particules beaucoup plus fines, lesquelles peuvent traverser les vides du sol grossier. La migration de ces fines peut se produire lorsqu'un gradient hydraulique critique est dépassé. Si l'écoulement se fait vers l'interface d'un filtre, alors suivant la dimension des pores du filtre, les fines en suspension peuvent être soit transportées à travers le filtre, soit arrêtées par ce dernier. Dans le premier cas, le filtre peut s'obstruer. Ceci, comme l'augmentation de la perméabilité et la diminution possible du volume du sol de base dues à la perte de fines, demande une attention spéciale lors de la conception. Dans le second cas,

A method for quantifying the erodibility of soils based on the use of critical shear stress, τ_c , developed due to hydraulic flow in the cracked zone of a dam has been presented by Arulanandan and Perry (1983).

4.6. CRACKS AND OTHER SOURCES OF CONCENTRATED FLOW

The possible presence of open passages through the base soil presents a special problem. They may be eroded internally with the erosion debris being carried through to the filter interface. This is a particular problem for the design of filter protection for the cores of dams which may be subject to cracking. The potential use of geotextiles for this purpose is restricted by the placement problems at an interface which is usually in a near vertical position within the dam and the possibility of rupture in the vicinity of the crack. Hollingworth and Druyts (1982) give an example of such a use. List (1982) reports the use of geotextiles on the downstream faces of two central vertical cores of soil-cement.

A saturated non-cohesive soil cannot sustain an open crack without collapse and self-sealing and thus the problem is predominantly one with cohesive base soils. The erosion debris may be subject to segregation (Vaughan and Soares, 1982) and self-filtering cannot necessarily be relied on. Dispersive soil conditions make the problem more severe. It may be noted that no examples are known of failures by internal erosion of the cores of dams where they have been protected by a medium or finer sand filter (Sherard, 1979). Nevertheless, caution is required in the design of filters to ensure the protection of cohesive soils against internal erosion where they may contain open cracks with a continuous flow of water through them.

A non-cohesive granular filter collapses when soaked (Vaughan & Soares, 1982). Thus it cannot sustain an open crack and automatically maintains its continuity if, for instance, a crack forms through a cohesive core upstream of it. A geotextile does not have this property and, if a crack forms transverse to it, continuity of the geotextile will not be maintained unless it can extend locally to span the crack.

4.7. SUFFOSION : THE INTERNAL STABILITY OF GRANULAR SOILS

The flow of water through a soil may sometimes lead to continuous migration of fine particles, a process often described as suffosion. This may occur when a coarse granular soil contains voids only partly filled with much finer particles which are able to pass through the voids of the coarse soil. Migration of these fines can occur when a critical hydraulic gradient is exceeded. If flow is towards a filter interface then depending on the size of the pores of the filter, the transported fines may be carried through the filter, or they may be arrested by it. In the first case the filter may become blocked. This requires special attention in design, as does the increase in permeability and possible decrease in volume of the base soil due to the loss of fines. In the second case the base soil adjacent to the filter interface will become fully plugged by fines, its permeability will decrease and there will be an

le sol de base adjacent à l'interface du filtre sera complètement colmaté par les fines, sa perméabilité diminuera et il y aura une augmentation de la perte de charge à proximité du filtre et une diminution de son efficacité en tant que drain.

La suffosion peut aussi se produire lorsque la perte de fines du sol de fondation survient à une interface du filtre. Si le sol de fondation comporte deux fractions, dont l'une peut traverser l'autre, et que la fraction fine peut traverser le filtre, alors le procédé peut être continu et les particules peuvent s'éloigner de l'interface du filtre. Le mécanisme peut être considéré comme une déficience du procédé d'auto-filtration. Les conditions dans lesquelles la suffosion peut se produire ont été étudiées par Lubochkov (1965 et 1969), Kovacs *et al.* (1973), Molenkamp *et al.* (1979) et Lowe (1978).

Le critère le plus simple utilisé pour étudier le risque de dispersion (Kovacs *et al.*, 1973, De Mello, 1975; Kezdi, 1979; Sherard, 1979) implique la séparation du sol de fondation en deux fractions arbitraires et la vérification au moyen d'un critère de filtre approprié afin de déterminer si la fraction grossière devrait agir comme un filtre efficace pour la fraction fine. Les résultats des essais montrent que le procédé est complexe, le critère mentionné ci-dessus servant seulement de guide. La suffosion ne peut pas se produire si on ne satisfait pas à ce critère; elle peut se présenter si on y satisfait. On peut mieux étudier ce risque par un essai direct. Les facteurs suivants sont à prendre en considération.

- (a) Les sols à granulométrie discontinue présentent un risque particulier.
- (b) Les sols en place peuvent ne pas être uniformes, ce qui augmente le risque. Aussi, les essais effectués à partir de spécimens compactés de ces sols peuvent ne pas offrir toute sécurité.
- (c) Le risque est plus grand lorsque les sols sont bien gradués (généralement définis comme des sols ayant de grandes valeurs du coefficient d'uniformité $U = d_{60}/d_{10}$). Ces sols contiennent habituellement des particules fines et ont tendance à être cohésifs. La cohésion dans le sol intact empêchera la suffosion. Aussi, le risque principal réside dans des sols non cohésifs bien gradués. Pour les sols cohésifs qui présentent des fissures, les débris d'érosion peuvent être transportés jusqu'à l'interface du filtre comme des particules indépendantes. L'effet de la cohésion peut alors être perdu et les débris peuvent être intérieurement instables. La suffosion peut se manifester à l'intérieur de ceux-ci. Les ruptures de filtre dans les barrages, causées par la déficience apparente du mécanisme d'auto-filtration, ont été observées surtout dans des sols cohésifs bien gradués qui comportaient probablement des fissures (Sherard, 1979). Lowe (1978) rapporte l'érosion du tapis amont au barrage de Tarbela, où la suffosion à l'intérieur des débris érodés semble avoir joué un rôle.

increase in head loss adjacent to the filter and a decrease in its effectiveness as a drain.

Suffosion may also occur when loss of fines from a base soil occurs at a filter interface. If the base soil consists of two fractions, one of which may pass through the other, and the fine fraction may pass through the filter, then the process can be continuous and work away from the filter interface. The mechanism can be considered as a breakdown of the self-filtering process. The conditions under which suffosion can occur have been examined by Lubochkov (1965 & 1969), Kovacs *et al.* (1973), Molenkamp *et al.* (1979) and Lowe (1978).

The simplest criterion used to examine the risk of suffosion (Kovacs *et al.*, 1973; De Mello, 1975; Kezdi, 1979; Sherard, 1979) involves dividing the base soil into two arbitrary fractions and checking by means of a relevant filter criterion whether the coarse fraction should act as an effective filter to the fine fraction. Test results show the process to be a complex one, and the above criterion is a guide only. Suffosion may not occur where the criterion is met and may occur when it is not met. The risk is best examined by direct test. The following factors are relevant in considering the risk.

- (a) Gap-graded soils are particularly at risk.
- (b) In-situ soils may contain non-uniformities which increase the risk. Thus tests using compacted specimens of these soils may be unconservative.
- (c) The risk is greater in well graded soils (generally defined as soils with large values of the Uniformity Coefficient $U = d_{60}/d_{10}$). Very well graded soils usually contain fine particles and tend to be cohesive. Cohesion in the intact soil will inhibit suffosion. Thus the principal risk is in non-cohesive well graded soils. In cohesive soils where cracks are present, eroded debris may be carried on to the filter interface as discrete particles. The effect of cohesion may thereby be lost and the debris may be internally unstable. Suffosion may occur within them. Filter failures in dams due to the apparent breakdown of the self-filtering mechanism have been observed predominantly in well graded cohesive soils in which cracks may well have been present (Sherard, 1979). Lowe (1978) reports the erosion of the upstream blanket at Tarbela Dam, in which suffosion within the eroded debris seems to have played a part.

5. DIFFÉRENCES ENTRE LES FILTRES DE GÉOTEXTILES ET LES FILTRES GRANULAIRES

Les filtres granulaires sont normalement employés dans les barrages en remblai et l'expérience acquise à leur sujet est considérable. Les filtres de géotextiles peuvent remplir le même rôle mais certaines différences dans leur nature et leur action apparaissent lorsqu'on examine la substitution d'un filtre granulaire par un géotextile. Les différences caractéristiques sont les suivantes :

5.1. UNIFORMITÉ

Les géotextiles sont sujets à des tolérances de fabrication mais celles-ci sont obtenues dans des conditions d'usine. Les filtres granulaires, non-traités, sont sujets à la variabilité inévitable des sols naturels. Ils sont également sujets à la variabilité due à la ségrégation pendant la mise en place.

5.2. MAINTIEN DE LA CONTINUITÉ

On doit compter sur l'extensibilité et la résistance d'un géotextile pour maintenir sa continuité pendant la mise en place et les déformations ultérieures. Un filtre granulaire non cohésif ne peut contenir une fissure ouverte lorsqu'il est saturé. Il maintient ainsi sa continuité par effondrement interne. On peut noter qu'un filtre granulaire peut développer de la cohésion avec le temps à cause d'une cimentation par dépôt de sels provenant de l'eau d'infiltration et, aussi, par fluage et « soudage » aux contacts intergranulaires là où se manifestent de fortes pressions.

5.3. ÉPAISSEUR

Un géotextile est beaucoup plus mince qu'un filtre granulaire. Comme mentionné précédemment, les pertes de charge à travers un géotextile de perméabilité semblable à celle d'un filtre granulaire sont beaucoup plus petites. Les particules en migration peuvent être arrêtées en profondeur dans un filtre granulaire. Les essais effectués par Atmatzidis (1973) sur des sables, suivis de filtres en gravier ne possédant pas les caractéristiques exigées pour des filtres et expérimentés avec des gradients hydrauliques faibles, ont montré que la stabilité était atteinte lorsque la pénétration de sable dans le gravier atteignait près de 1 m. Wittmann (1979) arriva à des conclusions similaires pour les filtres granulaires. Wittman (1982) étudia le comportement des géotextiles en employant des méthodes théoriques semblables. Il montra que le nombre d'obstructions qu'une particule en migration doit traverser le long de tout pore continu possible est proportionnel au nombre de fibres (ou grains dans un filtre granulaire) qu'elle traverse.

5. DIFFERENCES BETWEEN GEOTEXTILE FILTERS AND GRANULAR FILTERS

Granular filters are normally used in embankment dams and there is considerable experience in their use. Geotextile filters may perform the same function but there are differences in their nature and action which are relevant when the substitution of a granular filter by a geotextile is considered. Typical differences are :

5.1. UNIFORMITY

Geotextiles are subject to manufacturing tolerances but these are maintained under factory conditions. Granular filters, if unprocessed, are subject to the variability inevitable in natural soils. They are also subject to variability due to segregation during placement.

5.2. MAINTENANCE OF CONTINUITY

A geotextile relies on its extensibility and strength to remain continuous during placement and subsequent deformation. A non-cohesive granular filter typically cannot sustain an open crack when saturated. It thus maintains continuity by internal collapse. It may be noted that a granular filter may develop cohesion with time due to cementation by salts deposited from the seepage water and possibly by creep and “ welding ” at the highly stressed contacts between granular particles.

5.3. THICKNESS

A geotextile is much thinner than a granular filter. As noted previously, head losses across a geotextile of the same permeability as a granular filter will be much smaller. Migrating particles may be arrested at depth in a granular filter. Tests by Atmatzidis (1973) on sands followed by gravel filters not meeting conventional filter criteria and tested at low hydraulic gradients showed that stability was reached when the penetration of sand into the gravel approached 1 m. Wittmann (1979) arrived at similar conclusions for granular filters. Wittmann (1982) considered the behaviour of geotextiles using similar theoretical methods. He assumed that the number of obstructions which a migrating particle must pass along any possible continuous pore is proportional to the number of fibres (or grains in a granular filter) which it passes.

En étudiant la probabilité statistique d'un resserrement suffisamment petit pour arrêter la particule, il trouva qu'un géotextile (avec des fibres de dimensions semblables à ses pores) nécessite seulement une épaisseur égale à 1/8-1/25 de celle d'un filtre granulaire (avec des particules peut-être 10 fois plus grandes que ses pores) pour la même probabilité d'arrêt de la particule. Cependant, les filtres granulaires mis en place ont généralement plus de 100 fois l'épaisseur du géotextile équivalent, et ainsi intrinsèquement ils donnent plus de sécurité. Des essais et études théoriques effectués par Atmatzidis (1973) sur la pénétration des sables dans les filtres de gravier parviennent aux mêmes conclusions.

5.4. TRANSITIONS INTERMÉDIAIRES

Un filtre est souvent employé comme transition entre un sol fin et un sol grossier. La transition agit comme filtre pour le sol fin et comme base pour le sol grossier. Lorsqu'un sol granulaire est employé comme transition, les mécanismes aux deux interfaces sont les mêmes. La migration du sol de transition dans le sol grossier est empêchée par l'arrêt des particules à l'intérieur des pores du sol grossier, et par la formation de voûtes et par l'auto-filtration à l'interface. Ce n'est pas le cas lorsqu'un géotextile est utilisé. Les fibres d'un géotextile sont de diamètre semblable à ses pores. Le déplacement des fibres du géotextile dans le sol grossier est empêché par la tension des fibres au-dessus des pores du sol grossier, plutôt que par leurs dimensions. Typiquement, la résistance à la traction requise sera minime mais le succès à long terme dépend du maintien de la continuité des fibres et d'une résistance à la traction suffisante. Ce mécanisme est analogue à celui des sols cohésifs. L'utilisation du géotextile permet un meilleur règlement de la distribution des pores, sans affecter la stabilité du filtre.

L'action d'un géotextile en tant que membrane agissant en traction peut avoir des désavantages. Le géotextile peut se tendre au-dessus des creux dans le sol de base sur lequel il est placé, même après qu'il ait été recouvert d'une couche de sol supplémentaire. Ceci peut laisser des ouvertures entre le sol de base et le géotextile, qui pourraient être sujettes à un écoulement concentré et à érosion. Par exemple, des ruptures peuvent se produire lorsqu'un géotextile est étendu sur un sol de base cohésif, sous le perré de protection de la pente, si le sol a été préalablement raviné par la pluie. L'écoulement peut se poursuivre dans les ravines, sous le géotextile, causant l'érosion et, peut-être, la migration de fines qui peuvent obstruer le filtre et causer une sous-pression suffisamment élevée pour déranger le perré. Aussi, sans une couverture de gravier proprement dégradé, un géotextile est particulièrement désavantagé, étant donné le manque de poids nécessaire pour conserver le contact avec sa couche de soutien. Il n'est donc pas conseillé de placer un perré directement sur un géotextile puisque ce dernier ne fonctionne pas bien en tant que filtre dans les espaces entre les blocs de perré où il n'est pas retenu fermement contre le sol de base.

Kallner, Bally et Matei (1982) rapportent que des particules colloïdales ont été retenues dans certains géotextiles par des forces électro-chimiques plutôt que par des facteurs géométriques. L'ampleur dépendait de la nature des particules et du type de polymère employé dans le géotextile. Le mécanisme est semblable à la rétention d'argiles flocculées à l'intérieur des filtres de sable. Ceci peut expliquer l'obstruction des géotextiles par des sols argileux.

By considering the statistical probability of a constriction being small enough to arrest the particle, he found that a geotextile (with fibres of similar size to its pores) need only be $1/8 - 1/25$ as wide as the equivalent granular filter (with particles perhaps 10 times bigger than its pores) for the same probability of arresting the particle. However, typical granular filters as placed will be more than 100 times the thickness of the equivalent geotextile, and so are intrinsically more conservative. Tests and theoretical studies by Atmatzidis (1973) on the penetration of sands into gravel filters give support to the above conclusion.

5.4. INTERMEDIATE TRANSITIONS

A filter is often used as a transition between a fine and a coarse soil. The transition acts as filter to the fine soil and as base to the coarse soil. When a granular soil is used as transition, the mechanisms operating at both interfaces are the same. The migration of the transition soil into the coarse soil is prevented by the arrest of particles within the pores of the coarse soil, and by arching and self-filtering at the interface. This is not so when a geotextile is used. The individual fibres of a geotextile are typically of similar diameter to its pores. The movement of the fibres of the geotextile into the coarse soil is prevented by their action in bridging the pores of the coarse soil in tension, rather than by their size. Typically the tensile strength required will be small but long term success depends on the retention of continuity in the fibres and a sufficient tensile strength. The action is analogous to that in cohesive soils. With a geotextile one has better control of pore distribution without affecting the stability of the filter.

The action of a geotextile as a tensile membrane can have disadvantages. It can span depressions in the base soil on which it is placed, even after it has been covered by a further layer of soil. This may leave gaps between the base soil and the geotextile, and they may be subject to concentrated flow and erosion. For instance, failures can occur when a geotextile is laid on a cohesive base soil beneath rip-rap slope protection, if the soil has been previously gullied by rainfall. Run-off may continue to flow down the gullies beneath the geotextile causing erosion and, perhaps, the generation of fines which may clog the filter and cause uplift pressures sufficient to disrupt the rip-rap. In this respect, without a cover of appropriately graded gravel, a geotextile is particularly at a disadvantage due to its lack of significant weight to hold it in contact with its supporting layer. Thus it is generally undesirable to place rip-rap directly on a geotextile since it does not function well as a filter where it is not held tightly against the base soil in spaces between rip-rap blocks.

Kellner, Bally and Matei (1982) report that colloidal particles were retained in some geotextiles by electro-chemical forces rather than by geometric factors. The extent depended on the nature of the particles and on the type of polymer used in the geotextile. The mechanism is similar to the retention of flocculated clays within sand filters. It may explain the clogging of geotextiles by clayey soils.

6. DÉTERMINATION DE LA DIMENSION DES OUVERTURES DES GÉOTEXTILES

La méthode la plus employée implique le tamisage d'un sol standard ou d'un échantillon à travers le géotextile, en employant la vibration ou quelque autre méthode pour garder le sol sur le tamis en mouvement. Bellotti et Puccio (1982) emploient un tamisage humide et définissent la dimension maximum d'ouverture du géotextile à 98 % de la dimension du sol le traversant. Heerten (1981) emploie le tamisage humide et définit la dimension d'ouverture de façon semblable à Bellotti et Puccio. Fayoux (1981) recommande le tamisage humide, et prend la dimension effective d'ouverture du géotextile comme étant 95 % de la dimension du sol le traversant.

Ogink (1975) employa un tamisage sec, et une série de fractions de sable de dimensions différentes, chacune tamisée séparément pendant 5 minutes. Il utilisa alors des méthodes probabilistiques pour évaluer l'éventail des dimensions d'ouvertures dans le géotextile en traçant le logarithme du pourcentage de chaque fraction de sable qui traversait le géotextile en 5 minutes en fonction du logarithme de la dimension de 50 % de la fraction de sable. Il définit alors le n % de la dimension d'ouverture (n % des ouvertures étant plus petit que cette dimension) comme étant la dimension de 50 % de la fraction de sable de laquelle n % a traversé le géotextile en 5 minutes, ceci peut être interpolé à partir du graphique. Cette méthode est également préconisée par Schober et Teindl (1979). Ruddock (1977 a) employa une méthode similaire, mais avec des fractions de verre ballotini standard de dimensions différentes et en tamisant chaque fraction pendant 10 minutes. Le Dept. of Army, US Corps of Engineers (1977) a également recommandé l'emploi du tamisage avec du ballotini divisé en fractions au moyen de l'éventail de tamis standards des US. Ceux-ci définissent la dimension d'ouverture équivalente du géotextile (Oe) comme celle du tamis qui a retenu la fraction ballotini dont 5 % ont traversé le géotextile. Rollin *et al.* (1980) critiquent l'emploi des méthodes de tamisage pour des matériaux non-tissés épais, prétendant qu'elles ne reproduisent pas pleinement la façon complexe dont les particules sont arrêtées. Les méthodes standards pour de tels essais sont actuellement en discussion.

Calhoun (1972) employa des méthodes optiques pour mesurer la dimension des ouvertures des géotextiles tissés. Pauter et Chene (1977) et Andrei, Strunga, Antonescu et Petrica (1982) décrivent l'emploi de la variation entre le volume d'eau retenu dans un géotextile et la succion qui lui est appliquée pour évaluer la distribution de la dimension des pores à partir d'un modèle de capillarité. Cole (1975) se réfère à des méthodes similaires. Masounave *et al.* (1980) décrivent l'emploi de la technique de la « lecture d'images » dans laquelle le textile est imprégné de résine transparente, et une coupe transversale coupée et polie est balayée optiquement en employant un équipement automatique. La porosité et la distribution de la dimension des pores sont alors déduites théoriquement par théorie probabilistique en termes de densité observée des fibres du textile (le nombre de fibres par superficie unitaire). Des études morphologiques de coupes transversales minces et extrêmement minces d'échantillons de sol-textile intacts, réalisées au moyen de microscopes optiques et électro-

6. MEASURING THE OPENING SIZES OF GEOTEXTILES

The most commonly used method involves the sieving of a standard soil or sample through the geotextile, using vibration or some other method to keep the soil on the sieve in motion. Bellotti and Puccio (1982) use wet sieving, and define the maximum opening size of the geotextile as the 98 % size of the soil passing it. Heerten (1981) uses wet sieving and defines opening size in a manner similar to Bellotti and Puccio. Fayoux (1981) recommends wet sieving, and takes the effective opening size of the geotextile to be the 95 % size of the soil passing it.

Ogink (1975) used dry sieving, and a series of different sized sand fractions each sieved separately for 5 minutes. He then used probabilistic methods to estimate the range of opening sizes in the geotextile by plotting the logarithm of the percent of each sand fraction which passed the geotextile in 5 minutes against the logarithm of the 50 % size of the sand fraction. He then defined the n % opening size (n % of openings being smaller than this size) as the 50 % size of the sand fraction of which n % passed the geotextile in 5 minutes, which can be interpolated from the plot. This method is also advocated by Schober and Teindl (1979). Ruddock (1977 a) used a similar method, but with different sized fractions of standard glass ballotini and sieving each fraction for ten minutes. Dept. of Army, US Corps of Engineers (1977) also recommended the use of sieving with ballotini divided into fractions by the range of standard US sieves. They define the equivalent opening size of the geotextile (O_e) as that of the sieve which retained the ballotini fraction of which 5 % passed the geotextile. Rollin *et al.* (1980) criticize the use of sieving methods for thick non-wovens, claiming that they do not fully reproduce the complex manner in which particles are arrested. Standard methods for such tests are currently under debate.

Calhoun (1972) used optical methods to measure the opening size of woven geotextiles. Paute and Chene (1977) and Andrei, Strunga, Antonescu and Petrica (1982) describe the use of the variation between the volume of water retained in a geotextile and the suction applied to it to estimate the pore size distribution from a capillarity model. Cole (1975) refers to similar methods. Masounave *et al* (1980) describe the use of the " image analyser " technique, in which the fabric is impregnated with transparent resin, and a cut and polished cross-section is scanned optically using automatic equipment. The porosity and pore size distribution are then deduced theoretically by probabilistic theory in terms of the fibre density of the fabric (the number of fibres per unit area) which had been observed. Morphological studies carried out in optical and electron microscopes of thin and extremely thin cross-sections of intact soil-textile samples have more lately been reported by Sotton, Leclercq, Federoff and Paute (1982).

niques ont, plus récemment, été publiées par Sotton, Leclercq, Federoff et Paute (1982).

Rollin *et al.* (1980) et Masounave (1980) discutent des mêmes relations et suggèrent une relation empirique entre la densité des fibres et la perméabilité, pour des textiles non tissés d'une épaisseur de plus de 1,5 mm. Ceci permettrait de déduire la densité des fibres de mesures de perméabilité, et ainsi la porosité et la distribution de la dimension des pores peuvent être obtenues sans observation directe de la densité des fibres.

Les différences dans la dimension des ouvertures d'un géotextile donné, que soulèvent les différentes méthodes d'essais et définitions, peuvent être considérables. Par exemple, Schober et Teindl (1979) ont trouvé, pour un géotextile typique, que $0_{50} = 0,14$ mm, $0_{90} = 0,19$ mm et $0_{98} = 0,22$ mm. Différents critères de filtres ont été basés sur différentes définitions de la dimension des ouvertures. Les variations entre différents petits échantillons d'un géotextile peuvent aussi être considérables (Ruddock, 1977 a) et il est généralement nécessaire d'effectuer des essais sur un certain nombre d'échantillons et de prendre une moyenne pondérée prudente.

Une récente comparaison intéressante des résultats de laboratoires différents concernant les caractéristiques de filtration des géotextiles a été faite par Fayoux, Cazzuffi et Faure (1984). Comme les conclusions le soulignent, la méthode par filtration hydrodynamique paraît préférable au tamisage à la vibration pour plusieurs raisons :

1. La méthode expérimentale est plus près de la réalité.
2. La méthode est peu affectée par la distribution de la dimension des particules du sol utilisé dans l'essai et par l'appareil : on peut reproduire les résultats de laboratoire à laboratoire d'une manière satisfaisante.
3. Les méthodes à vibration paraissent donner des résultats beaucoup plus divergents : les caractéristiques de la vibration en ce qui concerne l'échantillon dépend non seulement de l'appareil même, mais aussi de la méthode expérimentale, y inclus le porte-échantillon.

Rollin *et al.* (1980) and Masounave (1980) discuss the same relationships and suggest an empirical relationship between fibre density and permeability for non-woven fabrics thicker than 1.5 mm. This enables the fibre density to be deduced from permeability measurements, and thus the porosity and pore size distribution can be deduced without direct observation of fibre density.

The differences in opening size for a given geotextile which arise from different test methods and definitions can be considerable. For instance, Schober & Teindl (1979), for a typical geotextile, found that $O_{50} = 0.14$ mm, $O_{90} = 0.19$ mm and $O_{98} = 0.22$ mm. Different filter criteria have been based on different definitions of opening size. Variations between different small samples of a geotextile may also be considerable (Ruddock, 1977 a) and it is generally necessary to test a number of samples and to take a conservatively weighted average.

The most effective simple method of measuring opening size currently available seems to be the determination of maximum opening size by wet sieving. A recent interesting comparison of the results of different laboratories about the determination of the filtration characteristics of geotextiles is given by Fayoux, Cazzuffi and Faure (1984). As emphasized in the conclusions, the method by hydrodynamic filtration seems preferable to vibratory sieving for several reasons :

1. The experimental method is closer to what happens in reality.
2. The method is little affected by the particle size distribution of the soil used in the test and is little affected by the apparatus : the reproducibility from one laboratory to another is satisfactory.
3. Vibratory methods seem to give markedly more divergent results : the characteristics of vibration where the sample is concerned depend not only on the apparatus itself, but on the whole test set-up, including the sample-holder.

7. DÉTERMINATION DE LA PERMÉABILITÉ TRANSVERSALE DES GÉOTEXTILES

Les perméabilités à l'eau sont généralement indiquées par les fabricants. Elles peuvent être données comme débits à travers le géotextile par superficie unitaire à une charge standard, habituellement de 100 mm, ou comme le coefficient de perméabilité, « k ». Si la vraie perméabilité doit être obtenue, alors le nombre de Reynolds limitant le débit laminaire ne doit pas être dépassé lors de l'essai (Groupe de travail du Comité français des grands barrages, 1982). Ogink (1975) suggère l'emploi d'une forme modifiée de la Loi de Darcy pour tenir compte d'un écoulement turbulent :

$$q^n = k_f \cdot A \cdot i$$

dans lequel q est le débit, n est un facteur qui varie de 1 pour le débit laminaire à 2 pour un écoulement turbulent. A est la superficie et i est le gradient hydraulique.

Des essais peuvent être effectués sur des feuilles de géotextile individuelles (McGown *et al.*, 1982), ou sur des empilements de ces feuilles (Bourdillon, 1976). Ce dernier arrangement facilite l'application de pression sur l'empilement et permet la recherche de la variation de perméabilité avec la pression normalement appliquée.

7. MEASURING THE TRANSVERSE PERMEABILITY OF GEOTEXTILES

Permeabilities to water are generally quoted by manufacturers. They may be given as flow through the geotextile per unit area at a standard head, usually 100 mm, or as the engineering permeability coefficient, “ k ”. If true permeability is to be obtained then the critical Reynolds Number limiting laminar flow must not be exceeded in the test (Groupe de Travail du Comité Français des Grands Barrages, 1982). Ogink (1975) suggests using a modified form of Darcy’s Law to account for turbulent flow :

$$q^n = k_f \cdot A \cdot i$$

in which q is flow rate, n is a factor ranging from 1.0 laminar flow to 2.0 for turbulent flow, k_f is the turbulent coefficient of permeability, A is area and i is hydraulic gradient.

Tests may be made on individual geotextile sheets (McGown *et al.*, 1982), or on stacks of such sheets (Bourdillon, 1976). The latter arrangement facilitates the application of pressure to the stack and the investigation of the change in permeability with normal pressure.

8. CRITÈRES DE CONCEPTION POUR DES FILTRES EN GÉOTEXTILES

Différents critères proposés pour les projets de filtres en géotextiles sont résumés au Tableau 2. Des études de certains de ces critères ont été présentées par Rankilior (1981), Hoare (1982) et Lawson (1982) et de Fayoux, Cazzuffi et Faure (1984).

Plusieurs critères pour des sols de base non cohésifs, sont tirés de, ou sont proches de règles utilisées pour les filtres granulaires. Pour ce faire, une dimension d'ouverture équivalente doit être déterminée pour le filtre granulaire. McKeande (1977) et ICE Fibres (1978) suivent le travail d'Atterberg et assurent que $d_k = 0,2 \times d_{15}$, où d_k est la dimension d'ouverture du sol équivalente et d_{15} est la dimension de 15 % du sol. McKeande accepte alors la règle bien connue pour les filtres employés dans le cas des sols de fondation non cohésifs, d_{15} du filtre $\leq 5 \times d_{85}$ du sol de base (Dept. of Army, US Corps of Engineers, 1941). En faisant l'équation des deux relations, McKeande conclut que la dimension d'ouverture du géotextile devrait être moindre que la dimension d_{85} du sol à protéger. McKeande emploie la dimension d'ouverture moyenne, déduite des essais de tamisage avec le verre ballotini, tels que décrits précédemment. La dimension d'ouverture maximum sera plus grande que la valeur employée dans son critère.

Vaughan et Soares (1982) et Ofoegbu (1981) rapportent que des essais ont été effectués où on a fait passer des particules fines en suspension à travers des sables. Ils ont trouvé que la dimension exacte, nécessaire pour que la particule traverse, était de l'ordre de 0,1 à $0,06 \times d_{15}$. Des essais de filtre sur des sables uniformes (voir, par exemple, Bertram, 1940) montrent de façon typique qu'une pénétration majeure ne survient que lorsque d_{15} du filtre excède environ $10 \times d_{85}$ du sol de fondation, indiquant que d_k est approximativement égal à $0,1 \times d_{15}$. Il s'ensuit que la relation de la US Army (d_{15} du filtre $\leq 5 \times d_{85}$ du sol de fondation) possède un facteur de sécurité incorporé de près de 2,0. La relation de McKeande possède un facteur de sécurité équivalent à la moitié de celui de la relation de la US Army si on assume de façon plus réaliste que $d_k = 0,1 \times d_{15}$ dans un filtre granulaire naturel. On peut prétendre que des filtres granulaires pourraient montrer une plus grande variabilité que les géotextiles fabriqués mais, même après avoir tenu compte de ce facteur, il semble qu'un facteur de sécurité devrait être utilisé avec l'expression de McKeande, et d'autres de même type, si une sécurité équivalente à celle apportée par les anciennes formules pour filtres granulaires, doit être atteinte.

On n'emploie généralement pas de coefficient de sécurité dans la définition d'un filtre. Toutefois l'éventail des granulométries est étendu et il faut tenir compte de la forme des courbes granulométriques. Si on utilise le critère d_{85} et si la granulométrie est riche en éléments grossiers (le coefficient d'uniformité est grand) il faut alors une très forte diminution de la granulométrie avant que des particules du sol de base soient inférieures à la dimension de retenue du filtre. Au contraire, si le sol de base est uniforme, avec le même critère, il suffit d'une faible diminution de la granulométrie pour que toutes les particules du sol de base puissent traverser le filtre. Ainsi un sol riche en éléments grossiers est intrinsèquement mieux protégé

8. FILTER DESIGN CRITERIA FOR GEOTEXTILES

Various filter design criteria which have been proposed for geotextiles are summarised in Table 2. Useful reviews of some of these criteria are given by Rankilior (1981), Hoare (1982), and Lawson (1982) and Fayoux, Cazzuffi and Faure (1984).

Several criteria for non-cohesive base soils have been derived from, or are related to, design rules for granular filters. For this to be done an equivalent opening size must be derived for the granular filter. McKeande (1977) and ICI Fibres (1978) follow the work of Atterberg and assume that $d_k = 0.2 \times d_{15}$, where d_k is the equivalent opening size of the soil and d_{15} is the 15 % size of the soil. McKeande then assumes the well known filter rule for non-cohesive base soils, d_{15} filter $\leq 5 \times d_{85}$ base soil (Dept. of Army, US Corps of Engineers, 1941). By equating the two relationships McKeande concludes that the opening size of the geotextile should be less than the d_{85} size of the soil to be protected. McKeande uses average opening size, deduced from sieving tests using glass ballotini, as described previously. The maximum opening size will be larger than the value used in his criteria.

Vaughan and Soares (1982) and Ofoegbu (1981) report tests in which fine particles in suspension were passed through sands. They found that the size of particle which would just pass was in the range 0.1 to $0.06 \times d_{15}$. Filter tests on uniform sands (see, for instance, Bertram, 1940) typically show that major penetration does not occur until d_{15} filter exceeds about $10 \times d_{85}$ of the base soil, indicating that d_k is approximately equal to $0.1 \times d_{15}$. It follows that the US Army relationship (d_{15} filter $\leq 5 \times d_{85}$ base soil) has a built in safety factor approaching 2.0. The McKeande relationship has a safety factor of half that of the US Army relationship if the more realistic assumption is made that $d_k = 0.1 \times d_{15}$ in a natural granular filter. It can be argued that granular filters may show greater variability than manufactured geotextiles, but, even after allowing for this factor, it would appear that a factor of safety should be used with the McKeande expression, and others of the same type, if security equivalent to the old granular filter relationships is to be achieved.

Factors of safety are not generally applied specifically in filter design. However, the possible range of gradings which may be involved and their shape need to be considered. If a criterion based on d_{85} is adopted and particles in the coarse size range are well graded (a large Coefficient of Uniformity) then a substantially finer grading is required before all the particles of the base soil are smaller than the designed retained size of the filter. If the base soil is uniform and the same criteria are applied, then only a slightly finer grading will allow all the base soil particles to pass the filter. Thus soils which are well graded in their coarse size range are intrinsically safer against error in assumed design grading than are uniform ones.

contre les erreurs qu'un sol uniforme. Ceci est à prendre en compte lors du choix du sol de base.

Schober et Teindl (1979) font le lien entre le projet avec géotextiles et une relation pour sol granulaire, entre d_{50} , d_k et U (le coefficient d'uniformité), attribuée à Ziem's. Ils emploient la relation du filtre granulaire de Cistin-Ziem's entre les dimensions de 50 % du sol de base et du filtre, et les coefficients d'uniformité à la fois du sol et du filtre. Les relations qui en résultent sont complexes, puisque ni les dimensions fines du filtre granulaire ni les dimensions grossières du sol de base qui contrôlent ensemble l'action filtrante ne sont examinées directement. La relation de Ziem's entre d_k et d_{50} pour un filtre granulaire peut être convertie en une relation entre d_k et d_{15} , si on prend une ligne droite comme courbe granulométrique. Une telle conversion pour un sol de densité moyenne donne d_k/d_{15} de l'ordre de 0,4 à 0,45 pour $1 < U < 20$, ce qui est beaucoup plus élevé que les facteurs expérimentaux indiqués précédemment. Aussi, les relations qui en découlent semblent moins prudentes lorsqu'on les compare à celles du filtre granulaire conventionnel. Cependant, l'expérience les justifie. Plus significatif est le fait que les critères peuvent permettre l'emploi de géotextiles ayant une dimension d'ouverture plus grande que la particule la plus grande présente dans le sol de fondation. Par exemple, pour un sol uniforme ($U = 1$) ayant une dimension de particule d , le facteur O_{90}/d est de 3 pour des feutres aiguillés et de 1,6 pour des géotextiles tissés.

Les critères de Ragutzki, Zitscher et Giroud permettent également une plus grande dimension d'ouverture du géotextile que la particule la plus grande du sol de fondation, si le sol de base est uniforme dans ses dimensions grossières. Les critères de Ogink le permettent aussi pour des géotextiles non tissés. La stabilité dans ces conditions doit dépendre de la formation de voûtes par les particules du sol de fondation au-dessus des pores du géotextile et il est intéressant de noter que cette formation de voûtes a été démontrée lors des essais de filtre pour des crépines de puits ou des tuyaux de drainage (Dept. Army, US Corps of Engineers, 1948; Neetles et Schomacher, 1967).

La stabilité pour un débit unidirectionnel a été observée avec des largeurs de rainures pouvant atteindre 3 fois le diamètre des particules les plus larges présentes dans le sol. Il n'est pas courant de compter sur la formation de voûtes dans la conception de filtres conventionnels, et il semble hasardeux de le faire lorsque l'on emploie des géotextiles.

Plusieurs critères font une distinction entre les géotextiles tissés et non tissés, et Schober et Teindl (1979) séparent spécifiquement les géotextiles tissés et les géotextiles minces non tissés de textiles non tissés plus épais du type aiguilleté, pour lesquels les critères sont moins prudents. On peut s'attendre à ce que l'efficacité d'un géotextile en tant que filtre dépende de la dimension de la particule qu'il retiendra. On peut s'attendre à ce que la perméabilité d'un géotextile soit fonction de la dimension de ses vides, les autres facteurs étant égaux, comme indiqué précédemment. Il est bien connu (voir, par exemple, Schober et Teindl, 1979) que la perméabilité des géotextiles compressibles aiguilletés diminue rapidement avec l'augmentation de la contrainte normale. La dimension d'ouverture du géotextile est normalement déterminée sous une contrainte normale de zéro, et il semble vraisemblable qu'il y ait une diminution sensible de la dimension d'ouverture avec la

This needs to be considered when the design base soil grading is adopted.

Schober and Teindl (1979) relate design with geotextiles to a relationship for a granular soil between d_{50} , d_k and U , the Coefficient of Uniformity, originally due to Ziem's. They use the granular filter relationship of Cistin-Ziem's between the 50% sizes of the base soil and filter, and the uniformity coefficients of both soil and filter. The resulting relationships are complex, since neither the fine sizes of the granular filter nor the coarse sizes of the base soil which together control the filtering action are considered directly. The relationship of Ziem's between d_k and d_{50} for a granular filter can be converted to one between d_k and d_{15} if a straight line grading is assumed. Such a conversion for a soil of medium density gives d_k/d_{15} in the range 0.4 to 0.45 for $1 < U < 20$, which is much higher than the experimental values previously described. Thus the derived relationships seem likely to be unconservative when compared with conventional granular filter design. However, they are justified by experiment. Of greater significance is that the criteria may allow the use of geotextiles with an opening size greater than the largest particle present in the base soil. For instance, for a uniform soil ($U = 1$) of particle size d , the ratio O_{90}/d is 3 for needlefelts and 1.6 for woven geotextiles.

The criteria of Ragutzki, Zitscher and Giroud also allow the opening size of the geotextile to be greater than the largest particle of the base soil if the base soil is uniform in its coarse sizes. The criteria of Ogink allow this for non-woven geotextiles. Stability under these conditions must depend on arching of the particles of the base soil over the pores of the geotextile, and it is of interest that arching has been demonstrated in filter tests on slots for well screens and drainage pipes (Dept. of Army, US Corps of Engineers, 1948; Nettles and Schomacher, 1967).

Stability in one-way flow has been observed with slot widths up to three times the diameter of the largest particles present in the soil. It is not usual to rely on arching in conventional filter design, and it seems unconservative to do so when employing geotextiles.

Several of the criteria distinguish between woven and non-woven geotextiles, and Schober and Teindl (1979) specifically separate woven and thin non-woven geotextiles from thicker non-woven textiles of the needle-punched type, for which their criteria are less conservative. The effectiveness of a geotextile as a filter can be expected to depend on the size of particle which it will retain. The permeability of a geotextile can be expected to be a function of its void size, other things being equal, as is discussed previously. It is well known (see, for instance, Schober and Teindl, 1979) that the permeability of the compressible needle-punched geotextiles decreases rapidly with increasing normal stress. The geotextile opening size is normally determined under zero normal stress, and it seems likely that there is a noticeable decrease in opening size with the small increase in normal stress which is applied in a typical filter test permeameter. Thus the apparent greater effectiveness

petite augmentation de la contrainte normale qui est appliquée dans un perméamètre d'essai de filtre typique. Ainsi, la plus grande efficacité apparente des géotextiles aiguilletés pourrait bien être due à la diminution de la dimension d'ouverture causée par les effets de la contrainte.

Giroud (1982) tire ses critères de considérations géométriques, et inclut l'influence de la densité du sol de base. Puisque la densité du sol de base adjacent au géotextile peut ne pas être celle du sol en général, et qu'il serait extrêmement difficile de garantir une densité élevée partout sur l'interface, il ne semble pas avisé de compter sur une grande densité du sol de base en cas de projet important.

Il y a une variété de vues considérable concernant l'influence du coefficient d'uniformité du sol de base sur la conception des filtres granulaires. Pour les sols de base qui présentent une courbe granulométrique raisonnablement droite, la rétention des particules plus grossières par un filtre devrait généralement permettre l'autofiltration et le développement d'une interface stable. Ainsi, les critères défendus par Terzaghi ou le Dept. of Army, US Corps of Engineers (1941) ont été employés avec succès pour des sols bien gradués. Cependant, des considérations géométriques indiquent que plus le coefficient d'uniformité du sol de fondation est grand, plus grande est la migration des particules qui se produira vraisemblablement avant qu'une interface stable ne se développe. Différents critères de filtres (Dept. of Army, US Corps of Engineers, 1953; Karpoff, 1955; Sherard *et al.*, 1984 a; Sherard *et al.*, 1984 b et Vaughan et Soares, 1982) reflètent ceci et requièrent des granulométries de filtres plus prudentes à mesure que le coefficient d'uniformité du sol de fondation augmente. Une approche semblable a été adoptée pour le projet de filtres de géotextiles par Schober et Teindl, Heerten et Giroud.

Tous sont d'accord qu'un débit dans les deux directions peut détruire l'effet de voûte et l'autofiltration, et que plus de prudence est requise dans la conception des filtres lorsque ce type d'écoulement est prévu. L'effet a été observé pour les filtres granulaires (Dept. of Army, US Corps of Engineers, 1953) et on en tient compte dans les critères pour sols de base non cohésifs, de Ragutski, Ogink, Zitscher, Schober et Teindl et Heerten. On peut s'attendre à ce que la vibration produise le même effet qu'un débit dans les deux directions. Des conditions de débit dans les deux directions peuvent être simulées dans des essais de filtres, et pour des applications importantes, de tels essais peuvent constituer le meilleur moyen d'établir des critères sûrs pour un projet (Loudière et Fayoux, 1982).

Il y a peu de directives concernant l'ampleur des oscillations de débit nécessaires pour que l'on choisisse des critères plus prudents. Heerten suggère que de fortes oscillations, telles celles causées par l'attaque des vagues sur la protection des berges, exigent la prudence, comme toutes les situations où le débit pourrait être turbulent. De légères inversions, telles que celles qui peuvent se produire lors de l'abaissement du plan d'eau d'un remblai, peuvent être traitées comme débit à sens unique.

Il faut noter que les essais de filtres sur lesquels sont basés les différents critères de filtres impliquent des configurations très simples. Des mécanismes d'érosion plus complexes peuvent exister en réalité. Presque tous les essais ont été effectués avec des sols de base dont les granulométries possèdent des formes communément rencontrées. Les critères qui en découlent peuvent ne pas s'appliquer aux sols dont les courbes granulométriques ont une forme inhabituelle, particulièrement lorsqu'il s'agit d'une granulométrie discontinue. De telles situations doivent être étudiées au

of needle-punched geotextiles is probably due to decreased opening size due to stress effects.

Giroud (1982) derives his criteria from geometric considerations, and includes the influence of base soil density. Since the density of the base soil adjacent to a geotextile may not be that of the soil in general, and it would be extremely difficult to guarantee a high density at all points of the interface, it seems unwise to rely on a high base soil density in any important design situation.

There is considerable variance of views concerning the influence of the Coefficient of Uniformity of the base soil on the design of granular filters. For base soils which show a reasonably straight grading distribution, the retention of the coarser particles by a filter should generally allow self-filtering to occur and a stable interface to develop. Thus the criteria advocated by Terzaghi or the Dept. of Army, US Corps of Engineers (1941) have been used successfully for well graded soils. However, geometric considerations indicate that the larger the Coefficient of Uniformity of the base soil, the greater the amount of particle migration which is likely to occur before a stable interface develops. Various filter criteria (Dept. of Army, US Corps of Engineers, 1953; Karpoff, 1955; Sherard *et al.*, 1984 a; Sherard *et al.*, 1984 b and Vaughan and Soares, 1982) reflect this and require more conservative filter gradings as the Coefficient of Uniformity of the base soil increases. A similar approach has been adopted for the design of geotextile filters by Schober and Teindl, Heerten and Giroud.

There is general agreement that alternating flow can destroy arching and self-filtering, and that more conservatism is required in filter design when this is involved. The effect has been observed for granular filters (Dept. of Army, US Corps of Engineers, 1953) and is considered in the criteria for non-cohesive base soils of Ragutski, Ogink, Zitscher, Schober and Teindl and Heerten. The effect of vibration may be expected to be similar to that of alternating flow. Alternating flow conditions can be simulated in filter tests, and for important applications, such tests may be the best way of establishing reliable design criteria (Loudiere and Fayoux, 1982).

There is little guidance concerning the magnitude of flow oscillations which are necessary for the more conservative criteria to be applicable. Heerten suggests that strong oscillations such as may occur due to wave attack on slope protection require conservatism, as does any situation where the flow may be turbulent. Gentle reversals, such as may occur during drawdown of an embankment, can be treated as one-way flow.

It should be noted that filter tests on which the various filter criteria are based involve very simple configurations. More complex erosion mechanisms may exist in the field. Nearly all tests have been made with base soils with gradings of the shapes commonly encountered. The criteria derived may not apply to soils with unusually shaped grading curves, particularly where gap grading is involved. Such situations should be examined by individual tests. Individual tests are also recommended where uses are particularly critical.

moyen d'essais particuliers. Des essais particuliers sont aussi recommandés lorsque les utilisations sont spécialement critiques.

On devrait également noter que différents critères adoptent différentes définitions pour la dimension des ouvertures du géotextile (voir Chapitre 6). Un sol de base bien gradué peut contenir des particules grossières. Dans de tels cas, on emploie habituellement une courbe granulométrique du sol de base dont les particules de plus de 20 mm environ sont exclues.

L'effet de cohésion du sol consiste à permettre au sol de base intact de former des voûtes au-dessus des ouvertures d'un géotextile, indépendamment de l'ordre de grandeur de ses particules. On en tient compte dans les critères de ICI Fibres, McKeande, Heeten, le Groupe de travail français et, dans une moindre mesure, Calhoun. Ces critères indiquent généralement qu'une dimension d'ouverture fine devrait être employée, de l'ordre de 50 microns. Il est intéressant de noter que le Dept. of Army, US Corps of Engineers, a recommandé l'usage de filtres de sable/gravier avec $d_{15} = 0,4$ mm. La dimension réelle des pores d'un tel filtre serait de l'ordre de 40 microns et ainsi, les recommandations pour l'emploi des géotextiles sont comparables. L'expérience avec des filtres granulaires (Davidenkof, 1955; Zaslavsky et Kassif, 1965) indique que ce type de critère est généralement prudent. Il peut très bien être inadéquat si des conditions de dispersion existent à l'interface filtre/sol.

Aucun travail n'est publié sur l'emploi de géotextiles comme filtres pour la protection des sols cohésifs fissurés, sujets à un écoulement concentré continu à travers des fissures. Cette situation a été considérée pour des filtres de sols granulaires par Vaughan et Soares (1982), qui proposent une méthode d'étude sûre et conservatrice qui ne dépende pas de l'autofiltration. Celle-ci est fondée sur la détermination de la dimension réelle d'ouverture d'un filtre granulaire au moyen de sa perméabilité. Un géotextile équivalant requerrait une dimension d'ouverture de l'ordre de 20 microns. De tels géotextiles ne sont généralement pas disponibles. Vu la connaissance actuelle incertaine des mécanismes impliqués dans ce type d'érosion, il semble qu'il ne soit pas avisé de compter sur des géotextiles pour une protection primaire à ce stade-ci. Les sols de fondation non cohésifs ne comportent pas un risque semblable de fissuration, puisque les fissures sous l'eau seront instables et se refermeront par effondrement (Vaughan et Soares, 1982).

A titre indicatif, on peut tirer les conclusions suivantes concernant la conception de filtres avec des géotextiles pour les barrages :

- (1) Les conditions hydrauliques et la nature critique de l'interface concernée devraient être considérées avec soin et la fonction du filtre devrait être définie (voir Tableau 1, Chapitre 3).
- (2) Pour des sols de fondation non cohésifs avec un écoulement à sens unique :
 - (a) le géotextile devrait retenir la dimension d_{85} du sol de fondation. Cette exigence est moins conservatrice que les règles typiques pour les filtres granulaires impliquant la dimension d_{85} des particules du sol de fondation.
 - (b) si le sol de fondation comporte une granulométrie bien graduée, une dimension d'ouverture du géotextile plus fine peut être requise pour prévenir un mouvement excessif des particules avant qu'une interface stable ne se développe.

It should also be noted that different criteria adopt different definitions for the opening size of the geotextile (see Chapter 6). A well graded base soil may contain coarse particles. In such cases it is common to use a base soil design curve from which the particles larger than about 20 mm are excluded.

The effect of soil cohesion is to allow the intact base soil to bridge the openings of a geotextile, irrespective of its particle size range. It is taken into account in the criteria of ICI Fibres, McKeande, Heerten, the French Working Group and, to a lesser extent, Calhoun. These criteria generally indicate that a fine opening size should be used, of the order of 50 micron. It is of interest that the Dept. of Army, US Corps of Engineers, have recommended the use of sand or sand/gravel filters with $d_{15} = 0.4$ mm. The effective pore size of such a filter would be of the order of 40 micron, and thus geotextile design recommendations are comparable. Experience with granular filters (Davidenkof, 1955; Zaslavsky and Kassif, 1965) indicates that this type of criterion is generally conservative. It may well be inadequate if dispersive conditions exist at the filter/soil interface.

No work is yet published on the use of geotextiles as filters for the protection of cracked cohesive soils subject to continuous concentrated flow through the cracks. This situation has been considered for granular soil filters by Vaughan and Soares (1982), who propose a conservative safe bound design method which does not rely on self-filtering. It is based on quantifying the effective opening size of a granular filter by means of its permeability. An equivalent geotextile would require an opening size of the order of 10 micron. Such geotextiles are not generally available. In view of the uncertain current knowledge of the mechanisms involved in this type of erosion, it would seem unwise to rely on geotextiles as primary protection at this stage. Cracking is not a similar risk in non-cohesive base soils, since underwater cracks will be unstable and seal by collapse (Vaughan and Soares, 1982).

The following conclusions for filter design with geotextiles in dams can be tentatively drawn :

- (1) The hydraulic conditions and the critical nature of the interface concerned should be carefully considered and the function of the filter defined (see Table 1, Chapter 3).
- (2) For non-cohesive base soils in one-way flow :
 - (a) the geotextile should retain the d_{85} size of the base soil. This requirement is less conservative than typical rules for granular filters involving the d_{85} base soil particle size.
 - (b) if the base soil is well graded a finer geotextile opening size may be required to prevent excessive particle movement before a stable interface develops.

- (c) un soin particulier devrait être apporté à l'adoption de la granulométrie de conception du sol de fondation pour des sols uniformes, une erreur minime pouvant avoir comme résultat que toutes les particules du sol de fondation sont toutes plus petites que la dimension d'ouverture du géotextile. Le risque est beaucoup moins élevé lorsque les sols de base contiennent des éléments grossiers.
 - (d) des essais individuels doivent toujours être pratiqués pour les sols de fondation à granulométrie discontinue ou de forme inhabituelle et la prudence devrait être de rigueur. Des essais particuliers sont également recommandés pour toutes les applications importantes.
- (3) Pour un écoulement alternatif ou turbulent avec des sols de fondation non cohésifs, des critères beaucoup plus prudents sont nécessaires.
 - (4) Pour des sols de fondation cohésifs avec des conditions de non-dispersion à l'interface du filtre, et sans débit concentré continu à travers les fissures ou défauts similaires, un géotextile à pores fins est satisfaisant.
 - (5) Si un débit continu peut se produire à travers une fissure ou autre ouverture dans un sol cohésif, alors la pratique actuelle est incertaine, un filtre de la dimension d'un sable étant généralement plus prudent qu'un géotextile pour protéger contre l'érosion interne et il n'est pas certain qu'on puisse actuellement utiliser un géotextile.

- (c) particular care should be taken in adopting the design base soil grading for uniform soils, as a small error may result in all the particles of the base soil being smaller than the geotextile opening size. There is much less risk with base soils which are well graded in their coarse sizes.

 - (d) individual tests should always be performed where base soils are gap graded or have unusually shaped gradings and conservatism should be applied. Individual tests are also desirable for all important applications.
- (3) For alternating or turbulent flow with non-cohesive base soils, much more conservative criteria are required.
 - (4) For cohesive base soils with non-dispersive conditions at the filter interface, and without concentrated continuous flow through cracks or similar defects, a fine pored geotextile is satisfactory.
 - (5) If continuous flow can occur through a crack or other opening in a cohesive soil, then the present state-of-the-art is uncertain, a sand sized filter is generally more conservative to protect against internal erosion than a geotextile and it is doubtful if, currently, a geotextile should be relied upon.

9. EXIGENCES DE PERMÉABILITÉ DES FILTRES

On exige fréquemment qu'un filtre soit plus perméable que le sol de fondation qu'il protège, pour s'assurer qu'il agisse également comme drain. Une perméabilité du filtre de plus de dix fois celle du sol de fondation est souvent requise pour les filtres granulaires. Ceci peut s'exprimer par une relation granulométrique approximative, telle que formulée dans les critères de Terzaghi, qui demande que la dimension D_{15} du filtre soit au moins quatre fois plus grande que la dimension D_{15} du sol de fondation. En général, il est préférable de déterminer la perméabilité requise dans un filtre directement à partir des pertes de charge admissibles dans le système combiné filtre/drain. Des diminutions possibles de perméabilité dues au colmatage et à une détérioration à long terme devraient être prises en compte.

La situation est semblable lorsqu'on emploie des géotextiles. Cependant, parce qu'un géotextile est mince, la perte de charge à travers ce dernier sera faible, même si sa perméabilité est substantiellement moindre que celle du sol qu'il protège. Ceci signifierait que lorsqu'un géotextile est utilisé en profondeur, une perméabilité transversale élevée n'est pas nécessaire. Par contre, elle sera beaucoup plus nécessaire à faible profondeur et à contrainte normale faible, comme lorsqu'un géotextile est employé sous la protection du parement. Une sous-pression faible due à la résistance à l'écoulement à travers le géotextile peut dans une telle situation être une cause de désordre. Calhoun (1972) rapporte deux cas de dommages au perré de protection de talus reposant sur des géotextiles dont la surface des pores est relativement petite et qui peuvent avoir été obstrué par des fines. Haliburton et Wood (1982) rapportent des cas semblables.

Le colmatage est un trait caractéristique dans l'emploi de géotextiles pour la filtration. Il peut être permanent, ou les particules fines logées dans le filtre peuvent être éliminées si l'écoulement est inversé (Rollin *et al.*, 1980). Le colmatage dû à la précipitation de composés de fer a également été rapporté par Scheurenberg (1982) et a été étudié par Veldhuizen, van Zanten et Thabet (1982). Le colmatage dû à l'activité bactérienne est traité au Chapitre 12.

L'effet de colmatage sur la perméabilité peut être observé si un essai est effectué sur le géotextile seul après l'avoir soumis à un écoulement transversal venant d'un sol approprié (Giroud *et al.*, 1977; Rollin *et al.*, 1980). Une perte de charge à travers un filtre de géotextile, plus grande que celle que sa perméabilité ne l'indique lorsqu'il est propre, peut être causée par l'entassement de fines à la surface du filtre, aussi bien que par l'obstruction des pores à l'intérieur du filtre par des particules fines (Rollin *et al.*, 1980). Heerten (1981, 1982) nota que la diminution de la perméabilité des géotextiles non tissés due au colmatage était beaucoup plus grande dans les échantillons récupérés sous la couche de protection du talus que dans les essais de colmatage à court terme effectués au laboratoire. A partir de cette observation, il suggéra des facteurs de réduction de la perméabilité pour tenir compte du colmatage à la fois des géotextiles tissés et non tissés employés sous la protection du talus pour protéger les sables argileux. Sa relation pour les textiles non tissés peut s'exprimer de la façon suivante :

9. PERMEABILITY REQUIREMENTS FOR FILTERS

It is frequently required that a filter shall be more permeable than the base soil which it protects, to ensure that it also acts as a drain. In granular filters a filter permeability more than ten times that of the base soil is often required. This may be expressed by an approximate grading relationship, such as that of the Terzaghi criteria, which requires that the D_{15} size of the filter shall be at least four times greater than the D_{15} size of the base soil. In general, the permeability required in a filter is best determined directly from the allowable head losses in the combined filter/drain system. Possible decreases in permeability due to clogging and long-term deterioration should be allowed for.

The situation is similar where geotextiles are used. However, because a geotextile is thin the head loss across it will be small even if its permeability is substantially less than the soil which it protects. This suggests that where a geotextile is used at depth the requirement for a high transverse permeability is not critical. However, it will be much more critical at a shallow depth and low normal stress, such as where a geotextile is used beneath slope protection. A small uplift pressure due to resistance to flow across the geotextile may cause failure in such a situation. Calhoun (1972) reports two cases of damage to rip-rap slope protection underlain by geotextiles of relatively small open area which may also have been clogged by fines. Haliburton and Wood (1982) report similar findings.

Clogging is a general feature in the use of geotextiles for filtration. It may be permanent, or the lodged fine particles may be washed out if the flow is reversed (Rollin *et al.*, 1980). Clogging by precipitation of iron compounds has also been reported by Scheurenberg (1982) and has been studied by Veldhuizen van Zanten and Thabet (1982). Clogging by bacterial activity is referred to in Chapter 12.

The effect of clogging on permeability may be observed if a geotextile is tested on its own after having been subjected to through flow from the appropriate soil (Giroud *et al.*, 1977; Rollin *et al.*, 1980). Head loss across a geotextile filter greater than indicated by its permeability when clean may be due to packing of fines at the face of the filter, as well as to blocking of pores within the filter by fine particles (Rollin *et al.*, 1980). Heerten (1981, 1982) noted that the decrease in permeability of non-woven geotextiles due to clogging was much greater in samples recovered from below slope protection than in short term clogging tests conducted in the laboratory. Based on such observations he suggested permeability reduction factors for clogging for both woven and non-woven geotextiles used below slope protection to protect silty sands. His relationship for non-woven fabrics can be expressed in the form :

Facteur de réduction de la perméabilité = $0,1 (n \cdot d \cdot D_w)^{0,7} / K_f^2$

où k_f = perméabilité d'un filtre propre standard

D_w = dimension réelle des ouvertures du textile par tamisage

d = épaisseur du textile à une contrainte normale de 2 kN/m²

n = porosité du textile

Les échantillons sur lesquels des essais ont été effectués ont montré une variabilité substantielle de cette relation. La détermination de D_w impliquait un tamisage humide pendant 15 minutes. Le degré de colmatage sous la couche de protection du talus peut ne pas être le même que celui qui se produit lorsqu'un géotextile est enfoui en profondeur.

Une méthode d'essais alternative proposée par le Dept. of Army, US Corps of Engineers (1977) implique l'essai de la combinaison sol/géotextile en écoulement descendant dans un perméamètre adapté, avec des piézomètres à 25 mm et à 75 mm au-dessus du géotextile. Le gradient est défini comme étant le rapport du gradient hydraulique de 0 à 25 mm au-dessus du géotextile sur le gradient hydraulique de 25 à 75 mm au-dessus du géotextile. Un facteur maximum de 3 lorsque des conditions d'écoulement stable furent atteintes, fut considéré comme acceptable. Haliburton et Wood (1982) donnent de plus amples informations sur cette approche. Koerner et Ko (1982) montrent que des gradients stables ne sont atteints dans les sols d'argile silteuse que lorsque l'essai est effectué pour une période de quelque 2 000 heures. La stabilité est atteinte en 200 heures ou moins pour les sols silteux. Ceci illustre l'importance du sol de base lorsque l'on fixe les exigences pour les essais de perméabilité. Des essais approfondis sont requis pour appliquer cette méthode à des situations pratiques. Cette approche peut être prudente (Glen, Simons et Demery, 1981).

Giroud *et al.* (1977) rapportent que la perméabilité d'un géotextile non tissé a diminué à 0,1 de la valeur originale après usage pendant un certain nombre d'années sous la couche de protection d'une pente pour protéger un gravier sablonneux et silteux légèrement cohésif. Veldhuizen, van Zanten et Thabet (1982) rapportent un colmatage important de géotextiles demeurés jusqu'à 7 ans sous la couche de protection du talus sur des sols sablonneux, et une altération du sol sous-jacent jusqu'à une profondeur de 70 mm.

Heerten (1981) suggère que la perméabilité du textile, après modification par le facteur de colmatage proposé, devrait être encore plus grande que la perméabilité du sol à protéger. McKeande (1977) suggère que la perméabilité du filtre propre devrait être au moins cinq fois celle du sol à protéger. Ces recommandations s'appliquent pour des géotextiles employés à faible profondeur.

Le Comité National Français (Loudière *et al.*, 1983) recommande le critère suivant très rigoureux : le géotextile devra avoir une perméabilité d'au moins 100 fois celle du sol, sur la base que l'exigence performance/durabilité des barrages est très élevée.

Il semble qu'il n'y ait aucune différence en principe entre le colmatage d'un géotextile et le colmatage de la couche superficielle d'un filtre granulaire. Il se peut que la reconnaissance du premier plutôt que du dernier provienne du fait qu'elle est beaucoup plus facile à observer et qu'elle peut vraisemblablement se produire par une concentration sur une distance beaucoup plus courte. Hoogendoorn et Van der Meulen (1977) effectuèrent des essais de colmatage comparables sur des

$$\text{Permeability reduction factor} = 0.1 (n \cdot d \cdot D_w)^{0.7} / k_f^2$$

where k_f = standard clean filter permeability

D_w = effective opening size of fabric by sieving

d = fabric thickness at normal stress of 2 kN/m²

n = porosity of fabric

The samples tested showed substantial variability about this relationship. The determination of D_w involved wet sieving for 15 min. The degree of clogging below slope protection may not be the same as that occurring when a geotextile is buried at depth.

An alternative test method proposed by the Dept. of Army, US Corps of Engineers (1977) involves testing the soil/geotextile combination in downward flow in an adapted permeameter, with piezometers at 25 mm and 75 mm above the geotextile divided by the hydraulic gradient from 25 to 75 mm above the geotextile. A maximum ratio of 3 when stable flow conditions were reached was considered acceptable. Haliburton and Wood (1982) give further information on this approach. Koerner and Ko (1982) show that stable Gradient Ratios are not achieved in silty clay soils until the test is run for some 2 000 hours. Stability is reached in 200 hours or less in silty soils. This illustrates the importance of the base soil in determining permeability test requirements. Extensive tests are required to apply this method to practical situations. This approach may be conservative (Glen, Simons and Demery, 1981).

Giroud *et al.* (1977) reported that permeability of a non-woven geotextile had decreased to 0.1 of the original value after use for some years beneath slope protection to protect a slightly cohesive silty sandy gravel. Veldhuizen, van Zanten and Thabet (1982) report extensive clogging of geotextiles up to 7 years old beneath slope protection on sandy soils, and alteration on the underlying soil down to a depth of 70 mm.

Heerten (1981) suggests that the fabric permeability, after modification by his proposed clogging factor, should still be greater than the permeability of the soil to be protected. McKeande (1977) suggests that the permeability of the clean filter should be at least five times that of the soil to be protected. These recommendations are for geotextiles used at shallow depth.

The French National Committee (Loudiere *et al.*, 1983) recommend the very stringent criterion that the geotextile shall have a permeability at least 100 times that of the soil, on the grounds that the performance/durability requirement in dams is very high.

There seems to be no difference in principle between clogging of a geotextile and clogging of the superficial layer of a granular filter. It may be that recognition of the former rather than of the latter is because it is much easier to observe and because it is likely to occur concentrated over a much shorter distance. Hoogendoorn and Van der Meulen (1977) made comparative clogging tests on geotextiles and a granular filter and showed that clogging of the two types of filter was comparable.

géotextiles et un filtre granulaire et démontrèrent que le colmatage des deux types de filtres était comparable.

La résistance à la traction des géotextiles peut être significative à faible profondeur. Une sous-pression agissant sur un géotextile colmaté peut agir sur une surface importante et soulever le matériau qui la recouvre, par exemple, le perré. Dans un filtre granulaire sans résistance à la traction, la même pression causera plus vraisemblablement une fissure locale qui relâchera la pression sans déplacer au même degré le matériau qui la recouvre.

Un second aspect observé dans la perméabilité de certains géotextiles est qu'elle est fortement dépendante de la contrainte normale à laquelle le géotextile est assujéti (Bourdillon, 1976; Gourc, Faure, Rollin et Lafleur, 1982; McGown, Kabir et Murray, 1982). Les diminutions jusqu'à 0,2 de la valeur originale dues à l'application d'une contrainte normale de 100 kN/m² sont communément observées et des diminutions supplémentaires se produisent à des contraintes plus élevées. Cet aspect devrait être considéré lors de la conception. On peut noter que la dimension réelle des ouvertures d'un géotextile diminuera vraisemblablement avec la diminution de la perméabilité. Cependant, il peut y avoir des variations locales substantielles dans les contraintes normales agissant sur un géotextile enfoui et ainsi, il peut être imprudent, dans la conception des filtres, de compter sur une diminution de la dimension des ouvertures avec les contraintes.

En résumé, il est prudent d'employer un géotextile dont la perméabilité transversale est égale à celle du sol de fondation, après avoir tenu compte du colmatage à long terme et des effets de la contrainte normale sur la perméabilité. La recommandation du Comité National Français que la perméabilité initiale sans contrainte normale soit 100 fois plus grande que celle du sol de fondation devrait permettre de l'assurer.

The tensile strength of geotextiles may be of significance at shallow depth. An uplift pressure acting on a clogged geotextile can act over a significant area and lift overlying material such as rip-rap. In a granular filter without tensile strength the same pressure is more likely to cause a local fracture which relieves the pressure without disrupting the overlying material to the same degree.

A second feature noticed in the permeability of some geotextiles is that it is strongly dependent on the normal stress to which the geotextile is subjected (Bourdillon, 1976; Gourc, Faure, Rollin and Lafleur, 1982; McGown, Kabir and Murray, 1982). Decreases to 0.2 of the original value are commonly observed due to the application of a normal stress of 100 kN/m² and further decreases occur at higher stresses. This feature should be considered in design. It may be noted that the effective opening size of a geotextile is likely to decrease with the decrease in permeability. However, there may be substantial local variations in the normal stresses operating on a buried geotextile and thus it may be unconservative in filter design to rely on a decrease of opening size with stress.

In summary, it is prudent to use a geotextile with a transverse permeability equal to that of the base soil, after allowance for long term clogging and for the effects of normal stress on permeability. The recommendation of the French National Committee that the initial permeability in the unstressed state should be 100 times greater than that of the base soil should be conservative in ensuring this.

10. GÉOTEXTILES EN TANT QUE SURFACES POSSIBLES DE CISAILLEMENT

Une couche de géotextile à l'intérieur d'une masse de sol formera une discontinuité. Ceci représente une faiblesse au cisaillement si la résistance du géotextile par cisaillement à l'intérieur de lui-même, ou la résistance du sol adjacent glissant sur le géotextile, est moindre que la résistance au cisaillement du sol adjacent.

Différents essais ont été effectués avec du sable glissant sur des géotextiles lors d'études d'armatures de sols. Andrawes, McGown et Wilson-Fahmy (1980) ont vérifié 16 géotextiles différents avec deux sables différents lors d'essais dans des boîtes de cisaillement. Des contraintes normales faibles, moins de 100 kN/m², ont été employées. Pour un sable meuble ($\varphi' = 35^\circ$), la réduction de la résistance lors du cisaillement du sable contre le géotextile ne dépassait pas 20 %, et était généralement de moins de 10 %. Pour un sable dense ($\varphi' = 50^\circ$), la réduction atteignait 40 %. Cependant, la valeur réduite n'était jamais inférieure à celle du sable meuble en cisaillement interne. Myles (1982) rapporte des résultats semblables avec des contraintes normales atteignant 140 kPa sur des sables et de la cendre de combustible pulvérisée. Ces résultats indiquent que les réductions de la résistance due au glissement par contact sont très variables et dépendent du type de géotextile employé et de la grosseur du sol granulaire.

Aucune donnée n'est connue pour le cisaillement drainé d'une interface sol cohésif/géotextile. Christie (1982) rapporte des essais de cisaillement non drainé sur différents sols cohésifs. Il a démontré que le géotextile avait pour effet de détruire la succion de l'eau des pores, à contraintes normales faibles, donnant ainsi des résistances d'interface beaucoup plus faibles que la résistance non drainée du sol. Il semble tout à fait probable que la résistance drainée d'une argile cisailée contre un géotextile sera en quelque sorte plus faible que pour l'argile en cisaillement interne.

L'importance de la formation d'une surface de faiblesse en cisaillement par un géotextile dépend de la façon dont la surface reste plane après l'installation. Lorsqu'il est employé en contact avec des enrochements ou des sols grossiers similaires, la déformation du géotextile au contact des gros éléments créera un accrochage considérable.

L'expérience actuelle indique que la formation d'un plan de faiblesse ne sera probablement pas un problème sérieux, mais on devra en tenir compte lors de la conception. Si, pour quelque raison que ce soit, deux couches de géotextile sont employées ensemble, alors le cisaillement de l'une sur l'autre doit aussi être examiné.

10. GEOTEXTILES AS POSSIBLE SHEAR SURFACES

A layer of geotextile within a soil mass will form a discontinuity. This may represent a weakness in shear if either the strength of the geotextile sliding in shear within itself, or the strength of the adjacent soil sliding on the geotextile, is less than the shear strength of the adjacent soil.

Various tests have been made of sand sliding on geotextiles in studies of soil reinforcement. Andrawes, McGown and Wilson-Fahmy (1980) tested 16 different geotextiles against two different sands in shear box tests. Low normal stresses less than 100 kN/m² were used. For loose sand ($\phi' = 35^\circ$) the reduction in strength when the sand was sheared against the geotextile did not exceed 20 %, and generally it was less than 10 %. For dense sand ($\phi' = 50^\circ$) the reduction was as much as 40 %. However, the reduced value was never less than that for the loose sand sheared within itself. Myles (1982) reports similar results with normal stresses up to 140 kPa on sands and pulverised fuel ash. These results indicate that reductions in strength due to contact sliding are very variable and depend on the type of geotextile used and the coarseness of the granular soil.

No data are known for drained shear of a cohesive soil/geotextile interface. Christie (1982) reports undrained shear box tests on several cohesive soils. He showed that the effect of the geotextile was to destroy pore water suctions at low normal stresses, so giving interface strengths much lower than the undrained strength of the soil. It seems quite likely that the drained strength of a clay sheared against a geotextile will be somewhat lower than for the clay sheared within itself.

The extent to which a geotextile can form a surface of shear weakness depends on the extent to which it remains plane after installation. Where it is used in contact with rockfill or similar coarse soils the distortion of the geotextile at the contacts with large particles will create considerable interlock.

The evidence available indicates that the formation of a plane of weakness is unlikely to be a serious problem, but it is something which needs to be considered in design. If for any reason two layers of geotextile are used together then shearing of one on the other must also be considered.

11. PROBLÈMES DE CONSTRUCTION ET EXIGENCES DE RÉSISTANCE

11.1. PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET ESSAIS

Murray et McGown (1982) ont montré l'importance relative des propriétés mécaniques des géotextiles en ce qui a trait aux fonctions principales de séparation, de filtration et de drainage, ainsi qu'à l'armature du sol. La résistance à l'éclatement local et la propagation de la déchirure sont données comme étant des propriétés mécaniques principales pour une filtration et un drainage adéquats (i.e. les géotextiles doivent résister aux charges locales et les redistribuer). Ils signalent également qu'une nette distinction devrait être faite entre les essais reliés directement à la fonction et les essais reliés au contrôle de la qualité.

11.2. POSE ET RECOUVREMENT DU TEXTILE

La pose d'un géotextile doit être effectuée de telle manière qu'elle n'impose pas une charge longitudinale excessive à celui-ci. Généralement, les rouleaux de textile peuvent être manipulés par deux hommes mais la pose mécanique a été demandée et apparemment effectuée avec succès.

Le devis technique (Société d'énergie de la Baie James, 1979) pour la fourniture de géotextiles dans le cadre du complexe hydro-électrique de la Baie James au Canada donne des informations au fournisseur éventuel sur les spécifications d'installation de géotextiles. Sous l'eau, les textiles doivent être déroulés d'une pièce du haut en bas des pentes, manuellement ou par moyens mécaniques approuvés. Au-dessus du niveau de l'eau, les textiles peuvent être déroulés en travers ou le long des pentes, d'une seule pièce ou en panneaux. Des panneaux contigus peuvent être

Les propriétés mécaniques spécifiées étaient les suivantes :

Propriété	Méthode d'essai	Valeurs minima	
		Type A	Type B
Épaisseur	Mesurée sous une pression de 0,5 kN/m ² (0,070 lbf/po ²)	4 mm	6 mm
Résistance à la traction	ONGC 4-GP-2 (1952) méthode révisée (1962) 9,2	180 kg	300 kg
Élongation à la rupture		80 %	80 %
Résistance au déchirement	ONGC 4-GP-2 (1957) méthode 12,2	60 kg	70 kg
Résistance à l'éclatement MN/m ²	ONGC 4-GP-2 (1955) méthode 11,1	3,9 MN/m ²	7,4 MN/m ²

11. CONSTRUCTION PROBLEMS AND STRENGTH REQUIREMENTS

11.1. Mechanical properties and tests

Murray and McGown (1982) have indicated the relative importance of the mechanical properties of geotextiles with respect to the basic functions of separation, filtration and drainage, and reinforcement. Local burst strength and tear propagation are given as the dominant mechanical properties for adequate filtration and drainage (i.e. geotextiles must resist and redistribute local loads). They also point out that tests directly related to function should be clearly distinguished from tests related to quality control.

11.2. LAYING AND COVERING OF FABRIC

Laying a geotextile must be done in such a way as not to impose an excessive longitudinal load upon it. Generally rolls of fabric can be handled by two men but mechanical laying has been specified and apparently successfully carried out.

The technical specification (Société d'Énergie de la Baie James, 1979) for the supply of geotextiles for the James Bay hydroelectric scheme in Canada, provides information to the potential supplier on the specification for installation of geotextiles. Under water, fabrics were to be unrolled in one piece from top to bottom of slopes, manually or by approved mechanical means. Above water level, fabrics could be unrolled across or down slopes, in one piece or strips. Adjoining strips could be stitched or overlapped by a minimum of 0.6 m (2 ft). Stones could be used to hold

The specified mechanical properties were as follows :

Property	Test Method	Minimum values	
		Type A	Type B
Thickness	Measured under a pressure of 0.25 kN/m ² (0.070 lbf/in ²)	4 mm	6 mm
Tensile strength		180 kg	300 kg
Elongation at failure	ONGC 4-GP-2 (1952) revised (1962) method 9.2	80 %	80 %
Tearing strength		60 kg	70 kg
Bursting strength MN/m ²		3.9	7.4

cousus ou se recouvrir de 0,6 m (2 pieds) au minimum. Des pierres peuvent être utilisées pour tenir le textile en place le long de la pente, ou des aiguilles pour ancrer les textiles en haut d'une pente. Les textiles doivent être fournis en rouleaux d'au moins 7,5 m (25 pieds) de large, soit en une pièce ou en sections cousues ensemble. Les coutures doivent avoir des propriétés mécaniques au moins égales à celles du matériau de base.

Paré (1980) décrit les précautions prises pour minimiser les dommages durant la pose. Parmi celles-ci, on demande de limiter les bosses ou dépressions au-dessus du niveau général à 300 mm (1 pied) mesuré sur une largeur de plus de 3 m (10 pieds). Il conclut que le contrôle de la mise en place des textiles est un des facteurs conduisant à une utilisation satisfaisante.

Le recouvrement du textile par des matériaux peut causer une déformation locale, percer ou déchirer le textile. De tels dommages dépendent du sol sur lequel le textile est étendu, de la nature et de la méthode de mise en place du matériau de recouvrement et de la circulation possible de véhicules sur le textile. Calhoun *et al.* (1971) ont signalé que des textiles ont été utilisés comme étoffes filtrantes sous le perré de protection de la berge et du talus d'ouvrages aux États-Unis. Le poids maximum des pierres excédait généralement 50 kg et les pierres étaient lâchées de hauteurs atteignant 1,5 m. (La plupart des textiles étaient placés sur des matériaux de base variant de sables fins à des argiles.) Ce traitement comparativement dur causa le déchirement de certains des textiles. Les auteurs concluent que lorsque des pierres ou moellons doivent être lâchés sur les textiles :

- (i) les résistances à la traction minima (ASTM D 1682) pour la plus forte et la plus faible direction devraient être d'au moins 1,6 kN (350 lbf) et 0,9 kN (200 lbf) respectivement. La méthode d'essai précise n'est pas mentionnée mais la méthode de Grab est recommandée pour évaluer la « résistance réelle » en utilisation. Dans cette méthode, la charge de rupture est déterminée sur une lanière de textile de 100 mm (4 po.) de largeur, tenue par des mâchoires de 25,4 mm (1 po.) de largeur. Cet essai tient compte d'une contribution à la résistance des fils perpendiculaires à la longueur de l'échantillon;
- (ii) l'élongation à la rupture ne devrait pas excéder 35 %;
- (iii) la résistance à l'éclatement minimum (ASTM D 751-66 T) devrait être de 3,6 MN/m² (520 lbf/po²).

Cependant, ils suggèrent que ces exigences de résistance pourraient être réduites si l'on exerce une extrême prudence lors de la mise en place des pierres.

Ruddock (1977 b) indique deux cas en Écosse où les blocs ont été placés directement sur un textile. Dans le premier cas, le textile a été étendu sur du sable meuble et du sable silteux et recouvert des pierres classées (200 mm ou moins) suivi d'enrochement grossier pour former un remblai. Des perforations occasionnelles du textile furent découvertes lors du creusement de puits de reconnaissance. Dans le deuxième cas, des enrochements angulaires atteignant une dimension de 500 mm furent déversés sur le textile étendu sur de la tourbe atteignant jusqu'à 4 m d'épaisseur. Outre quelques perforations, il n'y eut aucun dommage sérieux.

Couche (1982) décrit la mise en place de rip rap de 300 mm sur des géotextiles étendus sur une pente au-dessus de sable fin silteux. Des dommages considérables au géotextile se sont produits lorsque le perré fut mis en place au moyen d'une benne preneuse, d'une pelle rétrocaveuse ou d'une drague, et un pont-roulant spécial fut

fabric in place along the slope or pins to anchor fabrics at the top of a slope. Fabrics were to be supplied in rolls at least 7.5 m (25 ft) wide either in one piece or sections sewn together. Sewn seams were to have mechanical properties at least equal to the parent material.

Paré (1980) describes the precautions taken to minimise damage during laying. These included limiting humps or depressions above the general level to 300 mm (1 ft) taken over a 3 m (10 ft) width. He concludes that one of the factors leading to the satisfactory performance was the control of placing the fabrics.

Covering the fabric may cause local distortion, puncture or tearing of the fabric. Such damage depends on the soil on which the fabric is laid, the nature and method of placing of the covering material and possible trafficking of the fabric. Calhoun *et al.* (1971) have reported projects in USA where fabrics have been used as filter cloths beneath riprap for slope and shore protection. The maximum stone weight generally exceeded 50 kg and the stones were dropped from heights of up to 1.5 m. (Most of the fabrics were placed on subgrade materials varying from fine sands to clays.) This comparatively severe treatment caused tearing of some of the fabrics. The authors conclude that where stones or rubble are to be dropped on the fabric :

- (i) the minimum tensile strengths (ASTM D 1682) in the strongest and weakest directions should be not less than 1.6 kN (350 lbf) and 0.9 kN (200 lbf) respectively (The precise method of test is not stated but the Grab Method is recommended for assessing the “ effective strength ” in use. In this method the breaking load is determined on a 100 mm (4 in) wide strip of fabric gripped by 25.4 mm (1 inch) wide jaws. This test allows for a contribution to the strength from yarns perpendicular to the gauge length);
- (ii) elongation at failure should not exceed 35 percent;
- (iii) the minimum burst strength (ASTM D 751-66 T) should be 3.6 MN/m² (520 lbf/in²).

Where, however, extreme care in placing stones is used, they suggest that these strength requirements could be relaxed.

Ruddock (1977 b) reports two cases in Scotland where rock has been placed direct on to a fabric. In the first case, fabric was laid on loose sand and silty sand and covered by graded rock (200 mm down) followed by coarse rock fill to form an embankment. Occasional punctures of the fabric were revealed on digging trial pits. In the second case, loose angular rock up to 500 mm in size was dumped on to fabric laid over peat up to 4 m thick. Other than a few punctures, no serious damage occurred.

Couch (1982) describes the placement of 300 mm rip-rap on geotextiles laid on a slope over silty fine sand. Extensive damage to the geotextile occurred when the rip-rap was placed by clam-shell, back hoe or dragline, and a special gantry was devised to allow placement without dropping. Sotton and Leclercq (1982) also noted

conçu pour permettre la mise en place sans chute. Sotton et Leclercq (1982) notèrent également des perforations dans des géotextiles tissés, en place depuis 12 ans, même si les propriétés mécaniques n'avaient pas varié de façon considérable.

Ruddock (1977 b) cite également deux études sur le terrain où des dommages ont été causés par suite de la circulation de véhicules. En Australie, la circulation reliée à la mise en place de pierres concassées sur du textile étendu sur une fondation très meuble a causé des perforations. Une sous-fondation fut dès lors requise. De même, Ruddock cite un rapport confidentiel du Central Water Planning Unit en Grande-Bretagne qui mentionne que de la pierre concassée et du perré furent placés sur différents textiles lors d'un essai de mise en place nécessitant la circulation de véhicules. Une pierre bien arrondie, graduée entre 10 mm et 150 mm, fut étendue sur le textile avec des épaisseurs de 250 mm et 500 mm. Le compactage effectué au moyen d'un excavateur à chenilles fut suivi d'une circulation de camions. Le dommage, indiqué par le nombre de trous au mètre carré observés, fut réduit considérablement en augmentant l'épaisseur de pierre roulée de 250 mm à 500 mm.

L'expérience citée ci-dessus indique que les géotextiles employés communément pour la construction des routes et la protection des pentes pourraient être utilisés comme moyen de séparation dans la construction des barrages. Il est peu probable que des dommages inacceptables surviennent si on apporte un soin raisonnable lors de la mise en place et du recouvrement du textile. Des perforations mineures ne devraient pas affecter de façon significative l'utilisation du textile comme séparateur.

Lorsque, cependant, on projette d'utiliser comme filtre un textile seul pour prévenir l'érosion due à un écoulement hydraulique, les perforations doivent être évitées. Une considération spéciale devra être apportée au matériau sur lequel le textile est placé, le matériau de recouvrement et la méthode de mise en place du matériau de recouvrement. Des essais en vraie grandeur sont conseillés. Il peut être nécessaire d'importer des matériaux classés servant à la fois de matériaux de base et de matériaux de recouvrement immédiat. Selon la qualité et la quantité de matériaux importés, l'économie réalisée par l'emploi d'un textile peut être sensiblement réduite. De plus, il est clair que, pour éviter les dommages, le matériau de recouvrement doit être soigneusement mis en place et compacté en couches jusqu'à une épaisseur considérable avant que le passage de véhicules ne soit permis. Ceci peut ne pas convenir à la méthode générale de construction d'un barrage; l'économie réalisée par l'emploi d'un textile comme filtre peut s'en trouver affectée en conséquence.

Un tissu étendu sur une pente peut nécessiter un ancrage au bord supérieur pour l'empêcher de glisser. Des tiges de métal ont été utilisées comme ancrages même si cette méthode n'a pas toujours été adéquate (Calhoun *et al.*, 1971). Le fait d'intercaler le bord supérieur entre des couches horizontales de remblai est une alternative même si ceci peut demander une quantité de textile additionnelle considérable. De plus, pour la protection de la pente amont, où de grandes surfaces peuvent être nécessaires, le textile peut être exposé pendant un temps considérable avant d'être recouvert de rip rap. Ceci pourrait conduire à une dégradation par la lumière ultra-violette (voir chapitre sur la Durabilité).

11.3. CONSOLIDATION ET ACTIVITÉ SISMIQUE

Il est peu probable que les déformations de compression et de traction découlant de la construction initiale et de la consolidation d'un barrage en remblai

puncture damage to woven geotextiles that had been in service for up to 12 years, although the mechanical properties had not changed dramatically.

Ruddock (1977 b) cites two field studies where damage has been caused by trafficking. In Australia, trafficking of compacted hard-core over fabric laid on a very weak sub-grade caused punctures. A sub-base was thereafter specified. Similarly, Ruddock quotes a confidential report from the Central Water Planning Unit in the UK which describes a trafficking test where hard-core and riprap were placed on various fabrics. Well-rounded stone, graded from 10 mm to 150 mm was laid over the fabric to depths of 250 mm and 500 mm. Compaction by a tracked excavator was followed by trafficking by lorries. The damage, as indicated by the observed number of holes per square metre, was considerably reduced by increasing the depth of stone from 250 mm to 500 mm.

The experience quoted above indicates that geotextiles commonly used in road construction and slope protection could be used as separating media in dam construction. With reasonable care in placing and covering the fabric, undue damage is unlikely. Minor punctures should not significantly affect the performance of the fabric as a separator.

Where, however, a fabric is intended to serve by itself as a filter to prevent erosion due to hydraulic flow, punctures must be avoided. Careful consideration should be given to the material on which the fabric is placed, the covering material and the method of placing the covering material. Full-scale trials are desirable. It may be necessary to import graded granular material both as bedding and immediate covering material. Depending on the quality and quantity of imported material, the economy of using a fabric may be much reduced. In addition, it is clear that, to avoid damage, the covering material must be carefully placed and compacted in layers to a considerable depth before trafficking may be permitted. This may not suit the overall pattern of construction of the dam with consequent effect on the economy of using fabric as a filter.

A fabric laid on a slope may require anchoring at the top edge to stop it sliding. Metal pins have been used as anchors although this method has not always been adequate (Calhoun *et al.*, 1971). Sandwiching the top edge between horizontal layers of fill is an alternative although this may require a considerable additional quantity of fabric. Furthermore, for upstream slope protection, where large areas may be involved, fabric may be exposed for a considerable time before covering with rip-rap. This could lead to degradation by ultra-violet light (see later section on Durability).

11.3. CONSOLIDATION AND SEISMIC ACTIVITY

The compressive and tensile strains arising from initial construction and consolidation of an embankment dam are unlikely to exceed 5 % and 2.5 %

excèdent respectivement 5 % et 2,5 %. (La mise en eau provoquera des déformations supplémentaires mais elles sont modestes en comparaison.) La déformation de compression est sans conséquence, sauf lorsqu'elle peut affecter la perméabilité et les caractéristiques de filtration d'un textile en opération. L'élongation des textiles à la contrainte limite de traction est rarement inférieure à 5 % dans la direction la plus défavorable et est souvent de 15 % ou plus. Même s'il est peu probable que la consolidation et la mise en eau cause une rupture en traction, il est prudent de choisir un textile ayant un allongement moyen ou fort lorsqu'il est tendu près de la contrainte limite de traction. Les déformations locales peuvent être beaucoup plus grandes que les chiffres cités plus haut si des remblais ou des fondations compressibles sont en cause; les déformations probables dans un remblai doivent être prises en compte si un géotextile est utilisé.

Si une activité sismique importante peut se produire, un textile ayant une capacité d'allongement élevée conservera vraisemblablement son rôle de moyen de séparation. L'emploi d'un textile pour enrober un filtre granulaire peut donc être bénéfique dans ces circonstances.

Cependant, si le textile doit être utilisé comme moyen de filtrage primaire, la déformation de traction potentielle résultant d'une activité sismique doit être examinée. L'effet de la déformation de traction totale sur la perméabilité du textile doit être examiné parce que la déformation causée par l'activité sismique peut ne pas être récupérable. En effet, il est possible que les déformations découlant d'une série d'événements sismiques puissent être cumulatives mais aucune évidence directe de ce phénomène n'a été trouvée dans la littérature. Des déformations sismiques peuvent survenir n'importe quand après la construction, et il est vraisemblable qu'une certaine perte d'extensibilité d'un géotextile se manifeste avec l'âge. Ainsi, l'emploi de géotextiles comme moyen de filtrage primaire où ils peuvent être sujets à une déformation sismique est discutable, en particulier si une fissuration peut se produire, pouvant créer de très fortes contraintes locales.

respectively. (Impounding will induce further strains but these are modest by comparison.) The compressive strain is of no consequence except in so far as it may affect the permeability and the characteristics of filtration of a fabric in service. The elongation of fabrics at ultimate tensile stress is rarely less than 5 % in the most unfavourable direction and is more usually 15 % or greater. Although it is unlikely that consolidation and impounding would cause tensile failure, it would be prudent to choose a fabric with a moderate to high elongation at ultimate tensile stress. Local strains can be much larger than the figures quoted above if compressible fills or foundations are involved, and the likely strains in an embankment should be considered if a geotextile is adopted.

Where severe seismic activity may occur, a fabric of high elongation capacity is more likely to retain its integrity as a separating medium. Indeed the use of a fabric to contain a granular filter may be beneficial in these circumstances.

If the fabric is to be used as the primary filter medium, however, the potential additional tensile strain from seismic activity should be estimated. The effect of the total tensile strain on the permeability of the fabric should be considered because the strain caused by seismic activity may not be recoverable. Indeed it is possible that the strains arising from a series of seismic events may be cumulative but no direct evidence of this phenomenon has been found in the literature. Seismic strains can occur at any time after construction, and there is likely to be some loss of extensibility of a geotextile due to ageing. Thus the use of geotextiles as primary filter media where they may be subject to seismic strain is questionable, particularly if cracking may be involved which can induce severe local strains.

12. DURABILITÉ DES GÉOTEXTILES

Rankilor (1981) fait un examen de l'information sur la dégradation des plastiques utilisés dans les géotextiles, une grande partie en est tirée de l'expérience d'autres usages tels que le revêtement de câbles souterrains. Calhoun *et al.* (1971) conclut que « les étoffes (sic) faites de polypropylène, de chlorure de polyvinyl, et de fibres de polyéthylène ne semblent pas se détériorer dans la plupart des conditions. Cependant, toutes les étoffes évaluées furent affectées jusqu'à un certain point par la lumière du jour ». Ces vues sont confirmées par un certain nombre d'autres auteurs (Giroud *et al.*, 1977; Heerten, 1981 et Sotton, Leclercq, Paute et Fayoux, 1982). Sotton (1981) est suffisamment optimiste pour affirmer que « dans des conditions d'emploi adéquates, les géotextiles... semblent vieillir aussi bien que... les matériaux de construction traditionnels ». Cet énoncé est basé sur l'examen détaillé d'échantillons de géotextiles récupérés dans des ouvrages après 12 ans de mise en place. Raumann (1982) confirme la perte de résistance et d'élasticité des géotextiles exposés aux intempéries, en particulier à la lumière du jour, pendant une période de deux ans. Elle conclut qu'aucun géotextile ne devrait être exposé à la lumière du jour pour des installations permanentes. Il est essentiel de s'assurer que le textile utilisé dans les barrages est emmagasiné loin de la lumière du jour et qu'il est recouvert aussitôt que possible après la mise en place.

Sotton (1981) décrit des essais de laboratoire sévères pour évaluer la résistance d'un textile de polypropylène à une solution aqueuse de HCl (pH 3) et une solution aqueuse de NaOH (pH 12). Les pertes de résistance à la traction et l'élongation à la résistance limite en tension ne dépassèrent pas 5 % après une immersion d'un an à 20 °C. Sotton, Leclercq, Paute et Fayoux (1982) et Sotton et Leclercq (1982) précisent également le travail des Français sur la durabilité. Même si la plupart des matériaux employés dans les géotextiles ont une même résistance aux alcalis et aux acides qu'on peut trouver dans les sols, le pH du sol doit être mesuré. Le fabricant du textile devrait confirmer la résistance du textile proposé au pH observé.

Les plastiques, en général, montrent une bonne résistance à l'attaque micro-biologique, même si quelque évidence d'attaque sur le nylon, le polyester et le chlorure de polyvinyl existe (Rankilor, 1981). Ionescu *et al.* (1982) « incubèrent » des échantillons de six géotextiles pendant 5 à 7 mois dans divers milieux contenant des bactéries. Même si un certain colmatage se produisit, aucun des géotextiles ne manifesta de signes de biodégradation et il semble que les propriétés mécaniques et les structures demeurèrent inchangées. Le nombre d'essais d'exposition par les fabricants et utilisateurs sans mention spécifique de dégradation biologique est une évidence négative que celle-ci est peu probable dans la plupart des circonstances.

D'autre part un manque évident d'attaque par la vermine peut provenir d'installations dans des environnements qui leur sont défavorables. Il semble improbable, par exemple, que tout géotextile soit une barrière impénétrable aux rongeurs fouisseurs, tels les rats ou les rats d'eau. Bentel Robbertze et Smith (1982) rapportent des dommages causés par des rongeurs et par le développement de racines à des géotextiles placés de 6 à 12 mois sous une mince couche de sable, dans des drains pour une digue servant à des dépôts de stériles miniers. Des racines peuvent pénétrer

12. DURABILITY OF GEOTEXTILES

Rankilor (1981) gives a review of information on the degradation of plastics used in geotextiles, much of it drawn from experience of other uses such as in coverings of buried cables. Calhoun *et al.* (1971) conclude that " cloths (sic) made of polypropylene, polyvinylidene chloride, and polyethylene fibres do not appear to deteriorate under most conditions. However, all of the cloths evaluated were affected to some degree by sunlight ". These views are supported by a number of other authors (Giroud *et al.*, 1977, Heerten, 1981 and Sotton, Leclercq, Paute and Fayoux 1982). Sotton (1981) is sufficiently optimistic to state that " in proper conditions of use, geotextiles... seem to age as well as... traditional building materials ". This statement is based on the detailed examination of geotextile samples recovered from structures after periods of service up to twelve years. Raumann (1982) confirms the loss in strength and resilience of geotextiles exposed to the weather, particularly sunlight, for up to two years. She concludes that no geotextile should be left exposed to light for permanent installations. It is essential to ensure that fabric used in dams is stored away from sunlight and covered as soon as possible after placing.

Sotton (1981) describes severe laboratory tests to estimate the resistance of a polypropylene fabric to an aqueous HCl solution (pH 3) and an aqueous NaOH solution (pH 12). The losses of tensile strength and elongation at ultimate tensile stress did not exceed 5 % after 1 year's immersion at 20 °C. Sotton, Leclercq Paute and Fayoux (1982) and Sotton and Leclercq (1982) also report French work on durability. Although most of the materials used in geotextiles are similarly resistant to the alkalis and acids that may be found in soils, the pH of the soil should be checked. The fabric manufacturer should confirm the resistance of the proposed fabric to the observed pH.

Plastics, in general, exhibit fair resistance to micro-biological attack although there is some evidence of attack on nylon, polyester and polyvinyl chloride (Rankilor, 1981). Ionescu *et al.* (1982) " incubated " samples of six geotextiles in various media containing bacteria for 5-17 months. Although some clogging occurred, none of the geotextiles showed any sign of biodegradation and the mechanical properties and structures seemed unchanged. The number of exposure tests by manufacturers and users without specific mention of biological degradation is negative evidence that it is unlikely under most circumstances.

Lack of evidence of attack by vermin may reflect installation in environments unfavourable to them. It seems unlikely, for instance, that any geotextile would be an impenetrable barrier to burrowing rodents, such as rats or water rats. Bentel Robbertze and Smith (1982) report damage to geotextiles by rodents and by growing weeds when they were left for 6-12 months under a shallow cover of sand in drains for a tailing disposal bund. Roots may penetrate fabrics used on the external slopes of dams. A non-woven fabric, covered by rip-rap protected the upstream slope of

les tissus employés sur les parements de barrages. Un textile non-tissé, recouvert de perré, protégea le parement amont du barrage de Valcros en France (Giroud *et al.*, 1977). Une vérification, après deux ans d'utilisation, révéla que des racines avaient poussé à travers le textile en plusieurs endroits.

Les spécifications pour textiles fournis dans le cadre du complexe de la Baie James (Société d'énergie de la Baie James, 1979) couvrent plusieurs aspects de la durabilité. Il est précisé, au chapitre « Propriétés chimiques », que : « les membranes devront être totalement à l'épreuve de la pourriture et insensibles à tous agents chimiques et biologiques généralement rencontrés dans la nature ».

Les exigences de livraison concernent la protection contre la lumière du jour, la saleté, la poussière, et tout autre agent pouvant affecter le comportement. Un recouvrement opaque en polythène est prescrit.

Pour conclure, on peut dire que l'expérience actuellement disponible indique que les géotextiles sont aussi durables dans un environnement souterrain que d'autres matériaux fabriqués. L'exposition à la lumière du jour peut causer une détérioration tout à fait rapide, qui doit être envisagée et contre laquelle on doit se prémunir quelle que soit l'utilisation prévue. Des études de détérioration à long terme se poursuivent et une liste d'organismes connus pour leurs participations à ce type de recherche est jointe en annexe.

the Valcros Dam in France (Giroud *et al.*, 1977). Examination after two years service revealed that roots had grown through the fabric in several places.

The specification for fabric supplied for the James Bay scheme (Société d'Énergie de la Baie James, 1979) covers several aspects of durability. Under " Chemical Properties " it states : " membranes shall be totally rot-proof and insensitive to all chemical and biological agents generally encountered in nature ".

The delivery requirements are for protection against sunlight, dirt, dust and any other agent which may affect behaviour. An opaque polythene covering is specified.

In conclusion, it may be said that currently available evidence indicates that geotextiles are as durable in the buried environment as other man-made materials. Exposures to sunlight can cause quite rapid deterioration, which should be considered and guarded against in any specific use. Studies of long-term deterioration continue and a list of organisations known to be involved in this type of research is appended.

13. CONCLUSIONS

L'emploi des géotextiles modernes a augmenté depuis 20 ans, le premier usage enregistré pour un barrage en remblai remontant à environ 14 ans. Ils ont été employés dans les barrages principalement comme supplément ou en remplacement des filtres granulaires. Les géotextiles n'agissent pas entièrement de la même façon que les filtres granulaires, et la stabilité des interfaces entre différents sols sous un écoulement hydraulique implique des mécanismes complexes. La prudence dans l'adoption de géotextiles pour l'ingénierie des barrages reflète bien les incertitudes que comporte l'emploi d'un matériau nouveau et original. Plusieurs des premiers usages ont eu lieu dans des endroits non critiques, souvent où les vérifications et les réparations sont possibles. L'expérience a été acquise surtout dans l'emploi sous la couche de protection des talus. Le comportement des interfaces enterrées ne peut être contrôlé sur place; ceci est également une raison valable pour être prudent. La commodité et la nouveauté des géotextiles peuvent quelquefois conduire à une utilisation inutile.

Différents critères ont été proposés pour la conception des filtres de géotextile. Ils ne sont pas tous compatibles mais des principes généraux ont été établis qui permettent d'aborder la conception avec confiance pour des endroits non critiques dans des ouvrages permanents ou des travaux temporaires tels que les batardeaux. Les géotextiles n'ont pas été utilisés de façon courante pour prévenir l'érosion d'interfaces sujettes à l'infiltration des eaux du réservoir; une grande prudence est requise lorsque l'on emploie des textiles à cette fin. Le bon comportement de filtres en géotextiles dans des endroits non critiques ne peut justifier leur emploi dans des endroits où existent des contraintes plus élevées et où les mécanismes des contraintes peuvent être différents. La démonstration n'a pas encore été faite que des géotextiles puissent fournir un équivalent aux filtres granulaires conçus de façon satisfaisante, en particulier lorsque la protection contre la fissuration ou les effets des tremblements de terre est nécessaire.

Les géotextiles ont été très efficaces comme séparateurs pour prévenir le mélange de différents sols pendant la construction. Des dommages pendant la mise en place sont observés régulièrement lorsque des matériaux grossiers angulaires sont utilisés. Des dommages locaux peuvent n'avoir que peu d'influence sur l'efficacité d'un séparateur, mais la continuité est nécessaire si un géotextile doit former un filtre pleinement efficace. Les mesures quelquefois nécessaires pour protéger les géotextiles contre les dommages de la mise en place peuvent alors rendre leur usage moins attrayant économiquement. La prudence est nécessaire dans les méthodes de mise en place et lors de la vérification afin de s'assurer que des dommages inacceptables ne se produisent pas.

L'expérience a montré que la durabilité des géotextiles, une fois enterrés, est bonne et qu'elle est probablement comparable à celle du béton ou de l'acier et d'autres matériaux de construction communément employés, mais n'est vraisemblablement pas comparable à celle des filtres granulaires. La recherche se poursuit sur cet important sujet et des observations à plus long terme deviendront progressivement disponibles.

13. CONCLUSIONS

Modern geotextiles have been growing in use for some 20 years, and the first recorded use in an embankment dam is some 14 years ago. In dams their main use has been as a supplement to or a replacement for granular filters. Geotextiles do not act in entirely the same way as granular filters, and the stability of interfaces between different soils under hydraulic flow involves complex mechanisms. The cautious adoption of geotextiles in dam engineering properly reflects the uncertainties involved in using a new and novel material. Many of the early uses have been in non-critical locations, often where examination and repair is possible. Most experience has been gained in use below slope protection. The performance of buried interfaces cannot be monitored *in situ* and this is also a proper cause for caution. The convenience and novelty of geotextiles may sometimes lead to unnecessary use.

Various criteria for the design of geotextile filters have been proposed. Not all are consistent but general principles have been established which allow design with confidence for non-critical locations in permanent works and in temporary works such as cofferdams. Geotextiles have not been extensively used to prevent erosion at interfaces which are subject to seepage from the reservoir; considerable caution is required in using fabrics for this purpose. Successful performance of geotextile filters in non-critical locations cannot be used to validate use in more highly stressed locations where behaviour mechanisms may be different. It has not yet been demonstrated that geotextiles can provide an equivalent to properly designed granular filters for this purpose, particularly when protection against cracking or the effects of earthquakes is required.

Geotextiles have been very effective as separators to prevent intermixing of different soils during construction. Damage during placing is commonly observed where angular coarse grained materials are involved. Local damage may have little influence on effectiveness of a separator, but continuity is necessary if a geotextile is to form a fully effective filter. The measures sometimes needed to protect geotextiles against placement damage may then make their use less economically attractive. Caution is needed in methods of placement and in monitoring that unacceptable damage is not being caused.

Experience has indicated that the durability of geotextiles, one buried, is good, and that it is probably comparable to concrete or steel and other commonly used construction materials but is unlikely to be comparable with that of granular filters. Research is continuing on this important topic, and longer term observations will become available progressively.

REFERENCES

- Aitchison, G.D. and Wood, C.C. (1965)
Some interactions of compaction, permeability and post-construction
deflocculation affecting the probability of piping failure in small earth dams
6th Intl Conf Soil Mech and Foundn Engng, Montreal,
Vol 2, 442
- Andrawes, K.Z., McGown, A. and Wilson-Fahmy, F.R. (1980)
Measurement of the soil-friction properties of geotextile fabrics
Report: University of Strathclyde, Scotland
- Andrei, S., Strunga, V., Antonescu, I. and Petrica (1982)
On hydraulic properties of geotextiles
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 121-126
- Arulanandan, K. and Perry, E.B. (1983)
Erosion in relation to filter design criteria in earth dams
Journal Geotechnical Engng Div, Proc ASCE, Vol 109, No 5 682-698
- Atmatzidis, D.K. (1973)
A study of sand migration in gravel
MSc Thesis, Northwestern University Evanston, Illinois
- Auriault, J.L., Borne, L. and Cordary, D. (1982)
Earth fills consolidation using fabrics: computation by means of
homogenization method
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 31-36
- Bellotti, R. and Puccio, M. (1982)
Experimental research for the use of some new materials on fill dams
14th Intl Congress Large Dams, Rio de Janeiro
- Belyashevskii, N.N., Bugai, N.G., Kalantyrenko, I.I.
and Topchii, S.L. (1972)
Behaviour and selection of the composition of graded filters in the
presence of fluctuating flow
Gidrotekhnicheskoe Stroitelstro, No 6, 19-23
- Bentel, D. Robbertze, J. and Smith, H. (1982)
The use and behaviour of geotextiles in underdrainage systems of
gold mine tailings dams in South Africa
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 183-188

- Bertram, G.E. (1940)
An experimental investigation of protective filters
Pub No 267, Soil Mechanics No 7, Harvard Graduate School of
Engineering
- Bourdillon, M. (1975)
Utilisation des textiles non-tissés pour le drainage
D'Ing Thise L'Université Claude Bernard-Lyon
- Bourdillon, M. (1976)
Utilisation des textiles non-tissés pour le drainage
Lab des ponts et chaussées
Research Report No 54
- Building Research Institute (1984)
Communication to BNCOLD Sub-Committee on Materials for Fill Dams
- Calhoun, C.C. (1972)
Development of design criteria and acceptance specifications for
plastic filter cloths
Tech Report S-72-7 U.S. Army Corps of Engineers, Waterways
Experiment Station, Vicksburg
- Calhoun, C.C., Compton, J.R. and Strohm, W.E. (1971)
Performance of plastic filter cloths as a replacement for granular
filter materials
Highway Research Record No 373, 74-85
- Chen, Y.H., Simons, D.B. and Demey, P.M. (1981)
Hydraulic testing of plastic filter fabrics
Journal Irrigation and Drainage Div., Proc ASCE, Vol 107,
No IR3, 307-324
- Christie, I.F. (1982)
Economic and technical aspects of embankments reinforced with fabric
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 3, 659-664
- Cistin, J. (1977)
Laboratorni stanoveni propustnosti technickyh textilií
VVUVSH - VUT Brno
- Cistin, J. (1980)
Laboratorni stanoveni prumeru filtracnich prulin netkanych
technickyh textilií
VVUVSH - VUT Brno
- Cole, F.W. (1975)
Filter ratings - An alternative to 'black-art'
Filtration and Separation, February
-

- Couch, F.B. (1982)
Geotextile applications to slope protection for the Tennessee-Tombigbee Waterway Divide Cut
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 217-222
- Craft, C.D. and Acciardi, R.G.
Failure of pore-water analyses for dispersion
Journal Geotechnical Engng Div, Proc ASCE, Vol 110, No 4, 459-472
- Davidenkof, R. (1955)
De la composition de filtres dans des barrages en terre
Trans 5th Intl Cong Large Dams, Paris, Vol 1, 385
- De Mello, Y.F.B. (1975)
Some lessons from unsuspected, real and fictitious problems in earth dam engineering in Brazil
6th Regional Conf Soil Mechanics and Foundation Engineering for Africa, Durban, Vol 2, 304
- Dept of Army, U.S. Corps of Engineers (1941)
Investigation for filter requirements for underdrains
Waterways Experiment Station, Vicksburg, Tech Mem No 183-1
- Dept of Army, U.S. Corps of Engineers (1948)
Investigation of wooden well screens for Grenada, Enid, Sardis Dams
Tech Mem 3-250, U.S. Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg
- Dept of Army, U.S. Corps of Engineers (1953)
Filter experiments and design criteria
Waterways Experiment Station, Vicksburg, Tech Mem No 3-360
- Dept of Army, U.S. Corps of Engineers (1977)
Civil Works Construction Guide Specification
CW 02215, November
- Fayoux, D. (1981)
Specifications for geotextiles in civil engineering
Index 81 Congress
- Fayoux, D., Cazzuffi, D. and Faure, Y. (1984)
The determination of the filtration characteristics of geotextiles: comparison of results of different laboratories
Conference Materials for Dams, Monte Carlo
- Gibson, R.E. and Shefford, G.C. (1968)
The efficiency of horizontal drainage layers for accelerating consolidation of clay embankments
Geotechnique, Vol 18, 327-335
- Giroud, J.P. (1982)
Filter criteria for geotextiles
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 103-108
-

- Giroud, J.P. (1983)
 Geotextile drainage layers for soil consolidation
 Civil Engineering for practicing and design engineers,
 Vol 2, pp 275-295
- Giroud, J.P., Gourc, J.P., Bally, P. and Delmas, P. (1977)
 Behaviour of a non-woven geotextile in an earth dam
 Intl Conference Use of Fabrics in Geotechnics, Paris, Vol 2, 213-218
- Gourc, J.P., Faure, Y. Rollin, A. and Lafleur, J. (1982)
 Structural permeability law of geotextiles
 Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 149-154
- Groupe de Travail du Comité Français des Grands Barrages (1982)
 L'utilisation des géotextiles dans les barrages en terre
 14th Congress Large Dams Q55 R53, Vol 4, 935-962
- Haliburton, T.A. and Wood, P.D. (1982)
 Evaluation of the U.S. Army Corps of Engineers Gradient Ratio
 test for geotextile performance.
 Proc. 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 97-102
- Heerten, G. (1981)
 Geotextilien im Wasserbau
 Prufung - Anwendung - Bewahrung, Sonderdruck aus Heft 52
 Mitteilungen des Franzius-Instituts fur Wasserbau und
 Kusteningenieurwesen der Universitat Hannover
- Heerten, G. (1982)
 Dimensioning the filtration properties of geotextiles considering
 long-term conditions
 Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 115-120
- Hoare, D.J. (1982)
 Synthetic fabrics as soil filters - a review
 Journal Geotechnical Engng Div, Proc ASCE, Vol 108, GT10, 1230- 1245
- Hollingworth, F. and Druyts, F.H.W.M. (1982)
 Filter cloth partially replaces and supplements filter materials for
 protection of poor quality core material in rockfill dam
 Trans 4th Intl Cong Large Dams, Rio de Janeiro, Vol 4, 709-723
- Hoogendoorn, A.D. and Van der Meulen, T. (1977)
 Preliminary investigations on clogging of fabrics
 Proc Intl Conf use of fabrics in geotechnics, Paris, Vol II, 177-182
- Hunt, J.A. (1982)
 The development of Fin Drains for structure drainage
 Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 25-30
- ICI Fibres (1978)
 Designing with Terram
 ICI Fibres, Pontypool, UK

- Ionescu, A., Kiss, S., Dragan-Bularada, M., Radulescu, D. Kolozsi, E., Pinte, H. and Crisan, R. (1982)
Methods used for testing the bio-colmatation and degradation of geotextiles manufactured in Romania
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 2, pp 547-552
- Karpoff, K.P. (1955)
The use of laboratory tests to develop design criteria for protective filters
Proc ASTM, Vol 55, 1183
- Kellner, L., Bally, R.J. and Matei, S. (1982)
Some aspects concerning retaining capacity of geotextiles
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 85-90
- Kern, F. (1977)
Réalisation d'un barrage en terre avec parement aval vertical au moyen de poches en textile
C.R. Coll Int Sols Textiles, Paris, Vol 1, 91-94
- Kezdi, (1979)
Soil Physics - Selected Topics
Elsevier, Ch 4, 125-127
- Koerner, R.M. and Ko, F.K. (1982)
Laboratory studies on long-term drain capability of geotextiles
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 91-96
- Kovacs, G. Starosolszky, O.P. and Szilvassy, Z. (1973)
Changes in the materials of earth dams and their influence on permeability
Research Institute for Water Resources Development, Budapest
Publications in Foreign Languages No 7, 6-48
- Lawson, C.R. (1982)
Filter criteria for geotextiles: relevance and use
Journal Geotechnical Engng Div, Proc ASCE, Vol 108, GT10, 1300-1317
- List, F. (1982)
Use of geotextiles in dam construction
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 189-192
- Loudiere, D. and Fayoux, D. (1982)
Filtration and drainage with geotextiles - tests and requirements
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol, 61-66
- Loudiere, D., Fayoux, D., Houis, J., Perfetti, J. and Sotton, M. (1983)
The use of geotextiles in French earth dams
Water Power and Dam Construction, January, 19-2
- Lowe, John III (1978)
Foundation design - Tarbela Dam
4th Nabor Corrillo Lecture - Soc. Mex Mecanica Suelos, 146
- Lubochkov, E.A. (1965)
Graphical and analytical methods for the determination of the properties of non-cohesive soils characterising suffosion (in Russian)
Isvestia VNIIG, 78
-

- Lubochkov, E.A. (1969)
The calculation of suffosion properties of non-cohesive soils when using the non-suffosion analog
International Conf on Hydraulic Research, Brno, Czechoslovakia, 135-148
- Mantz, P.A. (1977)
Packing and angle of repose of naturally sedimented fine silica solids immersed in natural aqueous electrolytes
Sedimentology, Vol 24, No 6, 819-832
- Masounave, J., Denis, R. and Rollin, A.L. (1980)
Prediction of hydraulic properties of synthetic non-woven fabrics used in geotechnical work
Can Geotech J, Vol 17, 517-525
- McGown, A., Kabir, M.H. and Murray, R.T. (1982)
Compressibility and hydraulic conductivity of geotextiles
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 167-172
- McKeande, E. (1977)
The behaviour of non-woven fabric filters in subdrainage applications
CR Coll Intl Sols Textiles, Paris, Vol 2, 171-176
- Molenkamp, F., Calle, E.O.F., Heusdens, J.J. and Koenders, M.A. (1979)
Cyclic filter tests in a triaxial cell
Proc 9th European Conf Soil Mech & Foundn Engineering, Brighton, Vol 2, 97-101
- Murray, R.T. and McGown, A. (1982)
The selection of test procedures for the specification of geotextiles
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 2, 291-296
- Myles, B. (1982)
Assessment of soil fabric friction by means of shear
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 3, 787-792
- Nettles, E. and Schomacher, N. B. (1967)
Laboratory investigation of soil infiltration through pipe joints
Highway Research Record No 203, 37-56
- Ofoegbu, A.I. (1981)
Design procedures for the protection of earth dam cores against piping drainage
MSc Thesis Dept of Civil Engineering, Univ Toronto, Canada
- Ogink, H.J.M. (1975)
Investigation of the hydraulic characteristics of synthetic fabrics
Delft Hydraulics Laboratory Pub no 146
- Paré, J.J. (1980)
Use of Geotextiles in James Bay Hydroelectric Project
Symposium on Geotextiles, Calgary
- Paute, J.L. and Chene, G. (1977)
Pore diameter distribution of non-woven fabrics and comments on the clogging phenomenon - Distribution du diamètre des pores des non-tissés et commentaires sur le phénomène du colmatage
International Conf Use of Fabrics in Geotechnics, Paris

- Ragutzki, G. (1973)
 Beitrag zur Ermittlung de Filterwirksankeit durchlassiger Kunststoffe
 Forschungsstelle fur Insel und Kusstenschutz Sonderdruck aus
 Jahresbericht, Band 25
- Rankilor, R.R. (1981)
 Membranes in ground engineering
 John Wiley & Sons, Chichester
- Raumann, G. (1982)
 Outdoor exposure tests of geotextiles
 Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 2, 541-546
- Rollin, A.L., Masounave, J. and Estaque, L. (1980)
 Hydraulic properties of synthetic geotextiles
 1st Canadian Symposium Geotextiles, Calgary, September
- Ruddock, E.C. (1977(a))
 Tests on woven and non-woven fabrics for pore size and damage by aggregate
 Proc Intl Conf Fabrics in Geotechnics, CR Coll Int Sols Textiles, Paris,
 Vol 2, 317-321
- Ruddock, E.C. (1977(b))
 Fabrics and meshes in roads and other pavements: a state-of-the- art
 review
 CIRIA Technical Note No 87, (Revised June 1978)
- Scheurenberg, R.J. (1982)
 Experience in the use of geofabrics in underdrainage of residue deposits
 Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 199-204
- Schober, W. and Teindl, H. (1979)
 Filter criteria for geotextiles
 Proc 9th European Conf Soil Mech and Foundn Engng, Brighton, Vol 2,
 121-129
- Sherard, J.L. (1979)
 Sinkholes in dams of coarse broadly graded soils
 Trans 13th Intl Congress Large Dams, Delhi, Vol 2, 25-36
- Sherard, J.L. and Decker, R.S. (Ed) (1977)
 Dispersive clays, related piping and erosion in geotechnical projects
 ASTM Special Technical Publication No 623
- Sherard, J.L., Dunningan, L.P. and Talbot, J.R. (1984 a and b)
 a. Basic properties of sand and gravel filters
 b. Filters for silts and clays
 Journal of Geotechnical Engng. Geotechnical Engng Div, ASCE,
 Vol 110, No 6, June pp 684-700 and 701-718
- Sills, G.C. (1974)
 An assessment using three field studies of the theoretical concept of the
 efficiency of drainage layers in an embankment
 Geotechnique, Vol 24, 467-74

- Silveira, A. (1965)
An analysis of the problem of washing through in protective filters
Étude du problème du transport des particules dans les filtres de protection
Proc 6th Intl Conf Soil Mechanics and Fndn Engng, Montreal,
Vol 2, 551-555
- Société d'Energie de la Baie James (1979)
Fourniture des membranes synthétiques: digue Frégate et travaux connexes
Devis Technique, Aménagement LG-3, Montréal
- Sotton, M. (1981)
Ageing and durability of geotextiles
Session 7, Non-wovens for technical applications
Index 81 Congress
- Sotton, M. and Leclercq, B. (1982)
Geotextiles and ageing tests
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 2, 559-564
- Sotton, M. and Leclercq, B., Fedoroff, N., Fayoux, D. and
Paute, J.L. (1982)
Contribution to the study of the clogging of geotextiles:
morphological approach
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 109-114
- Sotton, M., Leclercq, B., Paute, J.L. and Fayoux, D. (1982)
Some answers components on durability problem of geotextiles
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 2, 553-558
- Sakthivadivel, R. (1975)
Design of filter thickness based on the application of queueing theory
J. Hyd. Res. Vol 13, No 2, pp 207-219
- Vaughan, P.R. and Soares, H.H. (1982)
Design of filters for clay cores of dams
Proc Geotechnical Div ASCE, Vol 108, GT1, 17-31
- Veldhuizen van Zanten, R. and Thabet, R.A. H. (1982)
Investigation on long-term behaviour of geotextiles in bank protection works
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 2, 259-264
- Wittmann, L. (1979)
The process of soil filtration - its physics and the approach in engineering
practice
Proc 9th European Conf Soil Mech & Foundn Engng, Brighton,
Vol 1, 303-310
- Wittmann, L. (1982)
Soil filtration phenomena of geotextiles
Proc 2nd Intl Conf Geotextiles, Las Vegas, Vol 1, 79-84
- Zaslavsky, D. and Kassif, G. (1965)
Theoretical formulation of piping mechanism in cohesive soils
Geotechnique, Vol 15, 305-316
- Zitscher, F.F. (1975)
Recommendations for the use of plastics in soil and hydraulic engineering
Die Bautechnik, Vol 52, No 12, 397-402

FIGURES

Figures

1. Voir dans le texte.
2. Géotextile pour la face amont du barrage de Merdja el Amal (Algérie).
3. Coupe transversale du barrage de Roybon, Isère (France).
4. Coupe transversale du barrage de La Valière, Ille-et-Vilaine (France).
5. Antenne des drainages pour les barrages en remblai.
6. Coupe transversale du barrage de Hans Strijdom (Afrique du Sud).
7. Utilisations-types de géotextiles dans les projets hydro-électriques de la Baie James (Canada).
8. Coupe transversale illustrant une réparation par une berne de pied et un drain au barrage de Indiantown, Floride (États-Unis).
9. Drain collecteur au barrage de Sidi Abdelli (Algérie).

FIGURES

Figures

1. See in the text.
2. Geotextile for upstream face at Merdja el Amal dam (Algeria).
3. Cross section of Roybon dam, Isère (France).
4. Cross section of La Valière dam, Ille-et-Vilaine (France).
5. Finger drains for fill dams.
6. Cross section of Hans Strijdom dam (South Africa).
7. Typical uses of geotextiles in James Bay hydroelectric projects (Canada).
8. Cross section showing repair by toe weight and drain of Indiantown dam, Florida (USA).
9. Drain header at Sidi Abdelli dam (Algeria).

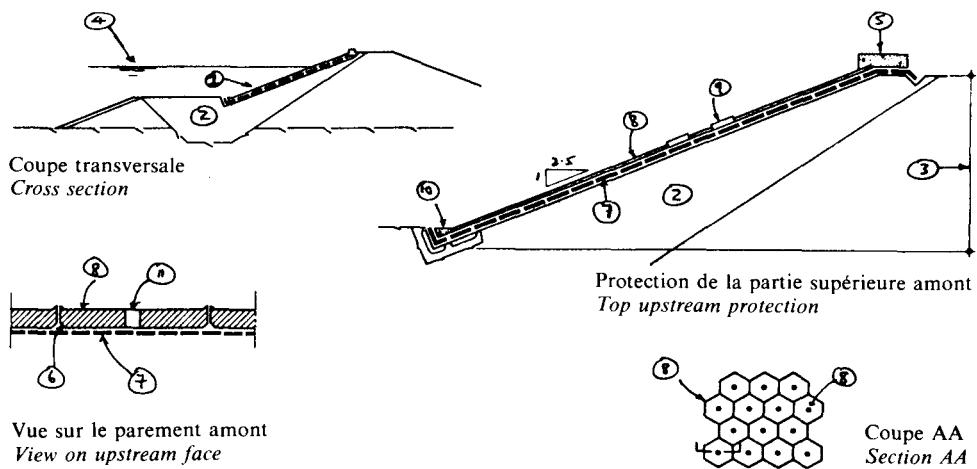


Fig. 2

Géotextile pour le filtre du parement amont du barrage Merdje el Amal (Algérie)
Geotextile for upstream face filter at Merdja el Amal dam (Algeria)

- | | |
|---|--|
| (1) Surface de 135 000 m ² . Protection de la partie supérieure amont. | (1) 135 000 m ² surface. Top upstream protection. |
| (2) Noyau. | (2) Core. |
| (3) Hauteur 6 m. | (3) Height 6 m. |
| (4) Niveau d'eau normal. | (4) Normal water level. |
| (5) Béton armé. | (5) Reinforced concrete. |
| (6) Chanfrein. | (6) Chamfer. |
| (7) Géotextile. | (7) Geotextile. |
| (8) Tuile régulière en béton armé, d'une épaisseur de 15 cm. | (8) 15 cm plain RC tile. |
| (9) Tuile brise-lame en béton armé, d'une épaisseur de 19 cm. | (9) 19 cm RC wave break tile. |
| (10) Béton poreux. | (10) No-fines concrete. |
| (11) Trou de 100 mm de diamètre pour manutention et drainage. | (11) 100 mm diameter hole for lifting and drainage. |

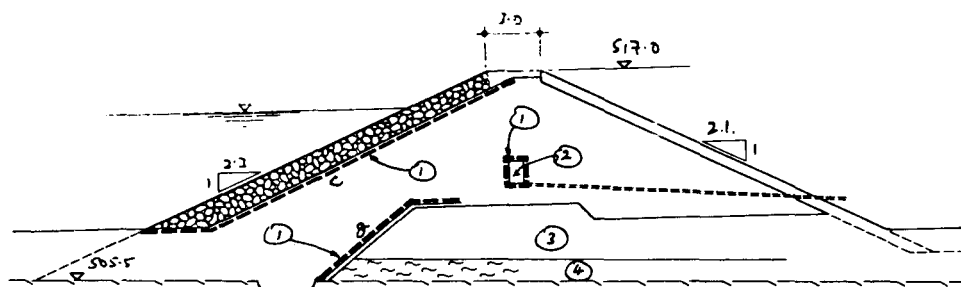


Fig. 3

Coupe transversale du barrage Roybon, Isère (France)
Cross section of Roybon, Isere (France)

- | | |
|-----------------|-----------------|
| (1) Géotextile. | (1) Geotextile. |
| (2) Drain | (2) Drain |
| (3) Alluvion | (3) Alluvium |
| (4) Marne. | (4) Marl. |

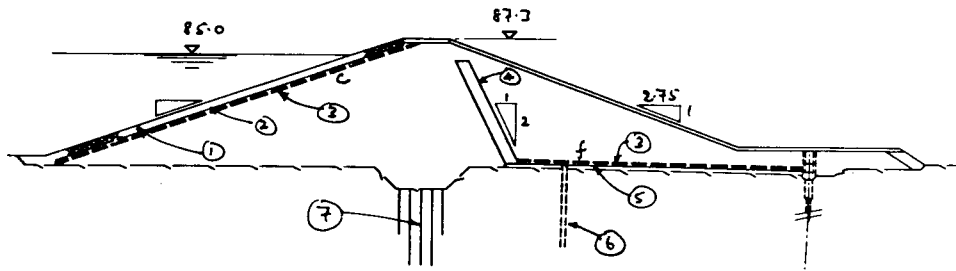


Fig. 4

Coupe transversale du barrage La Valière, Ille-et-Vilaine (France)

Cross section of La Valière dam, Ille-et-Vilaine (France)

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| (1) Perré. | (1) Riprap. |
| (2) Filtre. | (2) Filter. |
| (3) Géotextile. | (3) Geotextile. |
| (4) Drain de sable. | (4) Sand drain. |
| (5) Drain de gravier. | (5) Gravel drain. |
| (6) Drain. | (6) Drain. |
| (7) Rideau d'injection. | (7) Grout curtain. |

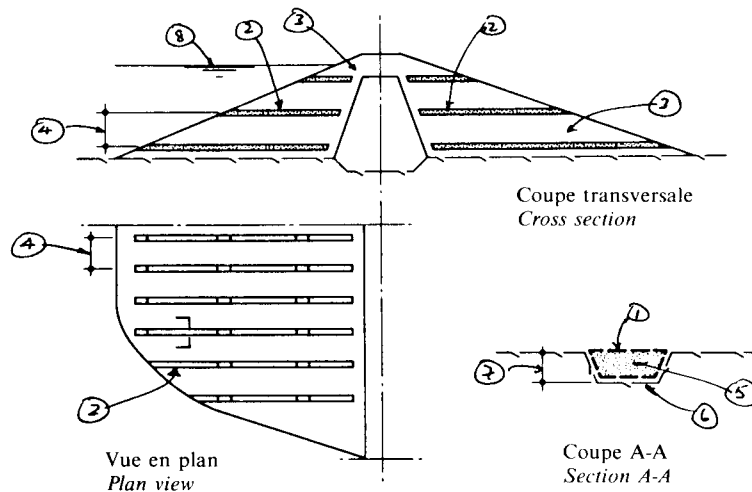


Fig. 5

Antennes de drainage pour barrages en remblai.

Finger drains for fill dams.

- | | |
|--|---|
| (1) Géotextile. | (1) Geotextile. |
| (2) Antennes de drainage. | (2) Finger drain. |
| (3) Épaulements d'alluvions mal connus à l'avance. | (3) Shells of alluvium poorly studied beforehand. |
| (4) Espacement de 5 m à 10 m. | (4) Spacing 5 m to 10 m. |
| (5) Surface de 0,5 à 1 m ² . | (5) 0.5 m ² to 1 m ² surface. |
| (6) Tranchée creusée après le compactage de la couche. | (6) Trench dug after rolling layer. |
| (7) Couche compactée. | (7) Rolled layer. |
| (8) Niveau d'eau normal. | (8) Normal water level. |

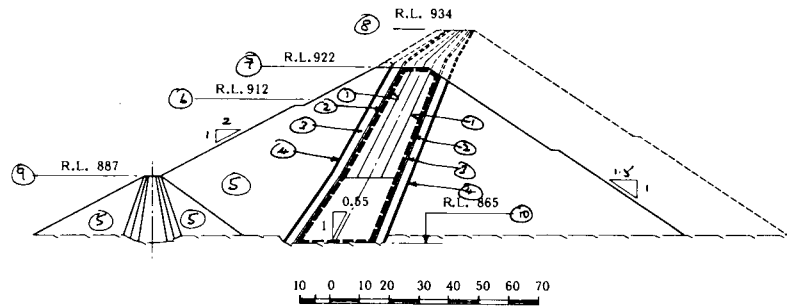


Fig. 6.

Coupe transversale du barrage Hans Strijdom (Afrique du Sud)
(d'après Hollingworth and Druyts, 1982).

*Cross section of Hans Strijdom dam (South Africa)
(after Hollingworth and Druyts, 1982).*

- | | |
|--|-------------------------------|
| (1) Tissu filtre. | (1) Filter cloth. |
| (2) Filtre de sable. | (2) Sand filter. |
| (3) Filtre de gravier. | (3) Gravel filter. |
| (4) Enrochement sélectionné. | (4) Selected rockfill. |
| (5) Enrochement. | (5) Rockfill. |
| (6) Niveau maximum de la retenue. | (6) Full supply level. |
| (7) Niveau initial de la crête. | (7) Initial crest level. |
| (8) Niveau final de la crête. | (8) Final crest level. |
| (9) Niveau de la crête du batardeau. | (9) Cofferdam crest level. |
| (10) Niveau le plus bas de la fondation. | (10) Lowest foundation level. |

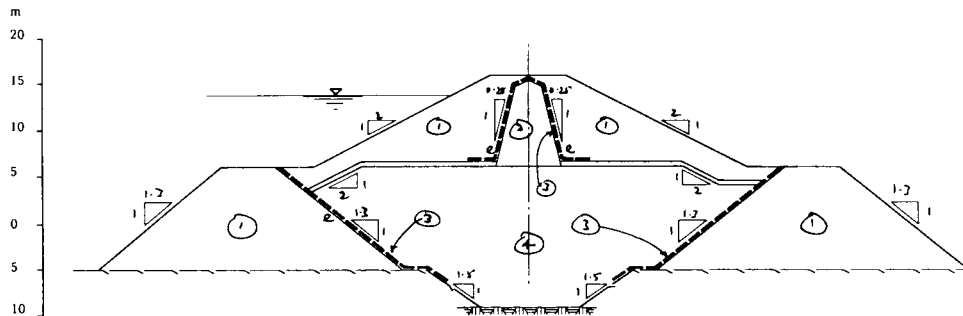


Fig. 7.

Utilisations types de géotextiles dans les projets hydro-électriques
de la Baie James (Canada) (d'après Paré, 1980).

*Typical uses of geotextiles in James Bay hydroelectric projects
(Canada) (after Paré, 1980).*

- | | |
|-------------------------|-------------------|
| (1) Enrochement. | (1) Rockfill. |
| (2) Noyau. | (2) Core. |
| (3) Géotextile. | (3) Geotextile. |
| (4) Remblai de moraine. | (4) Moraine fill. |

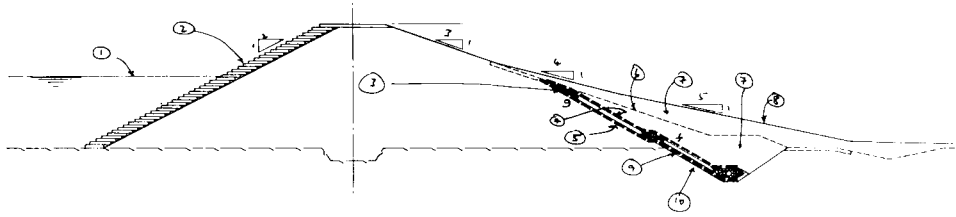


Fig. 8

Coupe transversale illustrant une réfection par une berme de pied et un drain au barrage Indiantown, Floride (États-Unis) (d'après Civil Engineering - ASCE (1981)).

Cross section of Indiantown dam, Florida (USA) showing repair by toe weight and drain (after Civil Engineering - ASCE (1981)).

- | | |
|---|--|
| (1) Niveau d'eau normal. | (1) Normal water level. |
| (2) Sol-ciment existant. | (2) Existing soil cement. |
| (3) 300 mm de gravier concassé (10-25 mm) | (3) 300 mm of crushed stone gravel (10-25 mm). |
| (4) Géotextile. | (4) Geotextile. |
| (5) Géotextile. | (5) Geotextile. |
| (6) Surface avant réfection. | (6) Surface before repair. |
| (7) Remblai de sable compacté. | (7) Compacted sand fill. |
| (8) Pente du nouveau remblai. | (8) Slope of new fill. |
| (9) 300 mm de sable utilisé comme filtre. | (9) 300 mm of sand as filter. |
| (10) Ligne d'excavation. | (10) Excavation line. |

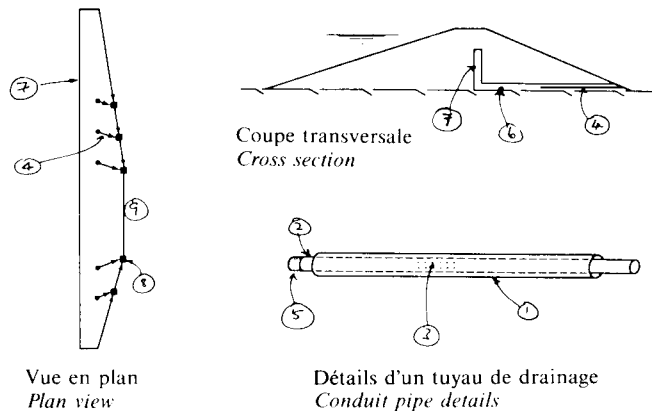


Fig. 9.

Drain collecteur au barrage Sidi Abdelli (Algérie)

(d'après le Groupe de travail du Comité Français des Grands Barrages (1982)).

Drain header at Sidi Abdelli dam (Algeria) (after Groupe de travail du Comité Français des Grands Barrages (1982)).

- | | |
|--|---------------------------------------|
| (1) Manchon de géotextile. | (1) Geotextile sleeve. |
| (2) Conduit servant à protéger les fils téléphoniques. | (2) Telephone conduit pipe. |
| (3) Trous brûlés dans le conduit téléphonique. | (3) Holes burnt in telephone conduit. |
| (4) Tuyau collecteur. | (4) Collecting pipe. |
| (5) Bouchon de ciment. | (5) Cement plug. |
| (6) Tapis filtrant | (6) Filter blanket. |
| (7) Drains-cheminées. | (7) Chimney drains. |
| (8) Puisard. | (8) Sump. |
| (9) Côté aval. | (9) Downstream side. |

ANNEXES

Annexes

1. Classification, fabrication et matériaux constituants des géotextiles
2. Relevé d'utilisation de géotextiles dans les barrages
3. Organismes intéressés à la recherche

Tableaux

1. Applications possibles des géotextiles comme filtres dans les barrages
2. Critères de filtres de différentes origines pour les géotextiles

APPENDICES

Appendices

1. Classification, manufacture and constituent materials of geotextiles
2. Survey of use of geotextiles in dams
3. Organisations with research interest

Tables

1. Possible applications of geotextiles as filters in dams
2. Filter criteria for geotextiles from various sources

ANNEXE 1

Classification, fabrication et matériaux constituants des géotextiles.

<u>Categorie</u>		<u>Textile formé par</u>
	<u>TISSE</u>	
A1	Monofilament rond : 0,25 mm - 1,00 mm de diamètre	Le croisement de deux jeux de fils différents
A2	Multifilaments continus ronds : 10 - 25 microns de diamètre	
A3	Rubans de films fendus	
A4	Rubans de multifilaments à fibres enroulées	
A5	Combinaisons de A1-A4 en chaîne et/ou en trame	
	<u>NON-TISSE</u>	
	<u>Liaisons thermiques</u>	
	Tapis composé de fibres continues ou discontinues orientées au hasard et retenues ensemble par des liaisons thermoplastiques fondues.	La production d'un feutre ou molleton de fibres étendues au hasard ou de filaments retenus ensemble par la fusion
B1	Liaisons formées avec des fibres à composante unique dont le point de fusion est moins élevé	
B2	Liaisons formées au moyen de la fusion de noyau ou d'une partie des fibres composantes	
	<u>Liaisons à la résine</u>	
C1	Tapis composé de fibres continues ou courtes orientées au hasard, compacté éventuellement au moyen de perçage à l'aiguille et imprégné de résine dispersée	Molleton retenu par enchevêtrement et/ou collage
	<u>Aiguilletage</u>	
D1	Tapis composé de fibres continues ou courtes orientées au hasard, compactées et enchevêtrées mécaniquement par de multiples perçages avec des aiguilles barbelées	Molleton retenu par enchevêtrement seulement
D2	Même produit qu'en D1, rétréci en chauffant, pour densifier la structure	
D3	Même produit qu'en D1, étiré de façon biaxiale, pour augmenter le module initial	
	<u>COUTURE</u>	
E1	A partir d'un molleton orienté au hasard seulement	Les textiles sont cousus et tricotés ensemble avec formation de molleton, peigné dans certains cas
E2	A partir d'un molleton orienté au hasard plus fils en chaîne	
E3	A partir d'un molleton plus fils en chaîne et en en trame	
	<u>TRICOTE</u>	
F1	Les textiles tricotés en trame sont fabriqués à partir d'un fil simple en tricotant en long	Les textiles sont fabriqués en bouclant les fils ensemble
F2	Les textiles tricotés en chaîne sont fabriqués à partir de fils multiples en tricotant en travers	

APPENDIX 1

Classification, manufacture and constituent materials of geotextiles.

<u>Category</u>		<u>Fabric formed by</u>
	<u>WOVEN</u>	
A1	Round monofilament: 0.25 - 1.00 mm diameter	The intersection of two sets of threads in various uniform arrangements
A2	Round continuous multifilaments: 10 - 25 microns dia	
A3	Slit film tapes	
A4	Multifilament fibrillated twisted tapes	
A5	Combinations of A1 - A4 in warp and/or weft	
	<u>NONWOVEN</u>	
	<u>Thermally Bonded</u>	
	Randomly oriented mat of continuous or discontinuous fibres held together by fused thermoplastic bonds	The production of a felt or fleece of randomly laid fibres or filaments held together by fusion
B1	With bonds formed from lower melting point single component fibres	
B2	With bonds formed by the fusion of the lower melting sheaths of core/sheath bicomponent fibres	
	<u>Resin Bonded</u>	
C1	Randomly oriented mat of continuous or staple fibres, optionally compacted by needle-punching and impregnated with a dispersed resin	Fleece held together by entanglement and or glueing
	<u>Needle-Punched</u>	
D1	Randomly oriented mat of continuous or staple fibres compacted and mechanically entangled by multiple piercing with barbed needles	Fleece held together by entanglement
D2	Product as in D1 shrunk by heating to densify the structure	
D3	Product as in D1 biaxially stretched to increase the initial modulus	
	<u>STITCHBONDED</u>	
E1	From a random fleece only	Fabrics are formed by a combination of sewing and knitting together with carded fleece formation in certain cases
E2	From a random fleece plus warp threads	
E3	From a fleece plus warp and weft threads	
	<u>KNITTED</u>	
F1	Weft knitted fabrics are produced from a single thread by knitting a succession of courses	Fabrics are formed by looping threads together
F2	Warp knitted fabrics are produced from multiple threads by knitting a succession of wales	

<u>Catégorie</u>	<u>Textile formé par</u>
<u>COMPOSITE</u>	
G1	Molleton poinçonné à l'aiguille sur une couche inférieure de textile tissé ou non-tissé
G2	La combinaison par laminage adhésif d'un textile à mailles de plastique avec un textile tissé ou non-tissé
G3	L'armature d'un textile non-tissé avec des filaments non tordus en direction de la "trame" ou de la "chaîne" (ou les deux), i.e. par liage à la pique
G4	La formation de structures "en forme de claie" tissées grossièrement à partir de rubans composés de filaments de textiles parallèles incorporés dans une enveloppe de plastique extrudé

Par une combinaison des modes ci-dessus. Techniques additionnelles

Matériaux constituants

Les textiles (suivant les types) peuvent être fabriqués à partir des produits suivants:

1. Polyamide aliphatique ("nylon")
2. Polypropylène)
) ("polyolefines")
3. Polyéthylène)
4. Polyester
5. Vinyl ("PVC", chlorure de polyvinylide)
6. Fibres de verre, minérales ou de carbone
7. Fil d'acier
8. Autres nouveaux matériaux fabriqués, tels que polyesters ou polyamides aromatiques
9. Matériaux composites

<u>Category</u>	<u>Fabric formed by</u>
	<u>COMPOSITE</u>
G1	Fleece needle punched onto a woven or nonwoven substrate fabric
G2	The combination of a plastic mesh fabric with a woven or nonwoven fabric by adhesive lamination
G3	The reinforcement of a nonwoven fabric with uncrimped filaments in the 'warp' or the 'weft' (or both) directions e.g. by stitchbonding
G4	The formation of coarsely woven 'wattle-like' structures from webbing composed of parallel textile filaments enclosed in extruded plastic sheathing
	By a combination of the above methods plus additional techniques

Constituent materials

Fabrics (depending somewhat on the type) may be manufactured from:

1. Aliphatic polyamide ("nylon")
2. Polypropylene)
3. Polyethylene) ("polyolefins")
4. Polyester
5. Vinyl ("PVC", polyvinylide chloride)
6. Glass, mineral or carbon fibres
7. Steel wire
8. Other new man-made materials such as aromatic polyesters or polyamides
9. Composite materials

ANNEXE 2

Enquête sur l'emploi de géotextiles dans les barrages en remblai.

Les exemples d'emploi de géotextiles dans les barrages, donnés dans cette annexe, ont été recueillis au moyen d'un questionnaire aux Comités nationaux de la CIGB. L'ordre de présentation, par pays, est :

1. Afrique du Sud
2. Australie
3. Autriche
4. Canada
5. Côte d'Ivoire
6. Etats-Unis d'Amérique
7. Finlande
8. France
9. Hong Kong
10. Inde
11. Italie
12. Malaisie
13. Nigéria
14. Norvège
15. République Fédérale d'Allemagne
16. Royaume-Uni
17. Tchécoslovaquie
18. Thaïlande

- Note:
1. Les exemples pour lesquels le Comité National concerné n'a pu fournir de données précises, en particulier en ce qui a trait au rôle du géotextile installé, n'ont pas été retenus.
 2. Un trait (-) indique qu'un item particulier d'information n'a pas été fourni.
 3. Sous "Emplacement et but du filtre",
u/s = amont
d/s = aval
 4. Les catégories de géotextiles et de matériaux se rapportent à celles données en Annexe 1.
 5. La dimension nominale des vides provient de la littérature du fabricant et a été déterminée par diverses méthodes.
 6. La dimension des vides est susceptible de changer selon la contrainte de confinement.

APPENDIX 2

Survey of use of geotextiles in fill dams.

Examples of use of geotextiles in dams have been collected by circulation of a questionnaire to the National Committees of ICOLD and are given in this Appendix. The order of presentation by country is:

Australia
Austria
Canada
Czechoslovakia
Federal Republic of Germany
Finland
France
Hong Kong
India
Ivory Coast
Italy
Malaysia
Nigeria
Norway
South Africa
Thailand
United Kingdom
United States of America

- Notes:
1. Examples have not been included where the relevant National Committee has been unable to provide adequate data, particularly with respect to the function of the geotextile installed.
 2. A dash (-) indicates that a particular item of information was not provided.
 3. Under "Location and function of filter",
u/s = upstream
d/s = downstream
 4. The categories of geotextile and material refer to those given in Appendix 1.
 5. The nominal pore sizes are from the manufacturers' literature and will have been determined by a variety of methods.
 6. Pore size is liable to change with confining stress.

No. Pays et nom du barrage	Hauteur au-dessus du niveau le plus bas de la fondation	Date Construction du barrage	Installation du textile	Emplacement et hut du filtre	Surface (m ²)	Classification du textile		Renseignements du fabricant*	
						Catégorie: Matériau	Poids (kg/m ²)	Dimension nominale des vides (microns)	
<u>AFRIQUE DU SUD</u>									
1. MIDDLE LETABA	39m	1977-85	-	Sous le perré, entourant le drain-cheminée et le drain de pied.	134 000	D1:4	0.34	29-52	
2. KILBURN	51m	1976-81	1977-79	a. Comme membrane entre le perré amont et le matériau de remblai pour prévenir l'érosion des particules fines lors d'une vidange rapide. b. Sur la face aval du drain-cheminée pour aider le filtre naturel à empêcher une migration du remblai dans le drain. c. Semblable à b. Entre le remblai et le drain de pied.	37 000	D1:4	0.34	29-52	
3. HANS STRUDOM	56m	1975-80	1977-80	Sur les pentes amont et aval du noyau central incliné entre le noyau et le sable des filtres pour aider le filtre naturel à protéger davantage un matériau de noyau déficient dans un remblai d'entourage.	72 000	D1:4	0.34	29-52	
4. RIETFontein WEIR		1976-79	-	Sous le perré, entourant de drain de pied.	3 000	D1:4	0.34	29-52	

5. DISANENG	1980	-	-	Sous le perré, entourant le drain-cheminée.	36 500	D1:4	0.27	29-51
6. ELANDSPRUIT	1978-85	95m	-	Sous le perré, entourant le drain de pied et le tapis de drainage.	145 000	D1:4	0.34	29-52
7. KOGELBERG	1983-87	52m	-	Sous le perré, entourant le drain de pied, le drain-cheminée et le tapis de drainage.	20 000	D1:4	0.34	29-52
8. GOEDERTROUW	1978-83	88m	-	Entourant le drain de pied.	10 000	D1:4	0.34	29-52
9. VAAL DAM (Raising)	1980-83		-	Entre la pente aval et le nouveau matériau de remblai	50 000	D1:4	0.34	29-52
10. TRICHARDSFONTEIN	1976-79	26m	-	Sous le perré, entourant le drain de pied	48 000	D1:4	0.34	29-52
11. BOSSIESPRUIT	1976-79		-	Sous le perré, entourant le drain de pied	20,000	D1:4	0.34	29-52
12. CHELMSFORD DAM (Raising)	1979-83		-	Sous le perré	-	D1:4	0.34	29-52
13. BRANDVLEI	1976		-	Sous le perré	-	D1:4	0.34	29-52
14. WINBURG	-		-	Sous le perré entourant le drain de pied	20 000	D1:4	0.34	29-52
15. VONDO	1980-83		-	Sous le perré entourant le drain de pied.	20 000	D1:4	0.27	29-51
16. SOUTH NDEBELE	1980-83		-	Protection du bloc de béton amont.	20 000	D1:4	0.21	28-50
17. BLOEMHOF	1975?		-	Sous le perré	-	D1:4	0.34	29-52
18. UMTATA	-		-	Sous le perré, entourant le drain de pied	-	D1:4	-	-
19. SANDILE	-		-	Sous le perré	-	D1:4	-	-
20. ZUIKERBOSCH FOREBAY	1981-83		-	Sous le perré, entourant le drain de pied	50 000	D1:4	0.34	29-52

No. Pays et nom du barrage	Hauteur au-dessus du niveau le plus bas de la fondation	Date		Installation du textile	Emplacement et hut du filtre	Surface (m ²)	Classification du textile		Renseignements du fabricant*	
		Construction du barrage	-				Catégorie: Matériau	Poids (kg/m ²)	Dimension nominale des vides (microns)	
21. OTJIVERO		? -1983	-		Sous le perré, amont et aval.	30 000	D1:4	0.34	29-52.	
22. VIRGINIA		1981-82	-		Sous le perré, entourant le drain de pied	20 000	D1:4	0.34	29-52	
23. GABERONE		1983-?	-		Sous les gabions	25 000	D1:4	0.15	28-50	
24. LETHABO STORMWATER		1982-83	-		Sous le perré	-	D1:4	0.21	28-50	
25. TUTUKA RESERVOIR		1982-83	-		Sous le perré, entourant le tapis de drainage	80 000	D1:4	0.34	29-52	
26. DUHVA RESERVOIR		1977-79	-		sous le perré, entourant le drain de pied	100 000	D1:4	0.21	28-50	
27. MATLA RESERVOIR		1977-79	-		Sous les drains	6 000	D1:4	0.15	28-50	
28. KRIEL ASHWATER		1982-83	-		Sous le perré	6 000	D1:4	0.21	28-50	
29. MATIMBA STORMWATER		1982-83	-		Sous le perré	-	D1:4	-	-	
30. TUTUKA POLLUTION CONTROL		1982-83	-		Sous le perré	-	D1:4	-	-	
31. KENDAL SEWER EFFLUENT		1983	-		Sous le perré, entourant le drain de pied	5 000 2 000	D1:4	0.21 0.34	28-50 29-52	
32. ORAPA		1979-80	-		Sous le perré	120 000	D1:4	0.21	28-50	
33. RIETSPRUIT	22m	1979	-		Sous le perré, entourant le drain de pied.	15 000	D1:4	0.34	29-52	
34. ERGO TAILINGS		1977-79	1977,79		Filtre entourant les lignes de drainage sous le mur de périmètre.	71 000	D1:4	0.15	30-54	

35. CROWN SANDS SLIMES	1981-82	1981	77 500	D1:4	0.15	30-54
*Note De plus, les géotextiles ont été employés dans plus de 60 barrages de cendre de centrales de production d'énergie et de stériles miniers, dans des quantités allant de 50 000 m ² à plus de 100 000 m ² par projet.						
<u>AUSTRALIE</u>						
1. BEN BOYD	30m	1976-77	1977	7 900	B2:2(70%) :3(30%)	0.1 120 - 180
Filtre entourant les drains de pied						
Sous un tapis de drainage horizontal conventionnel. Sous la partie aval du remblai.						
2. COLLINSVILLE		1978	1978	10 900	B2:2(70%) :3(30%)	0.2 090=60 050=40
Filtre autour du tapis de drainage en gravier						
3. LOY YANG	17m	1979	1979	2 900	B2:2(70%) :3(30%)	0.14 090=175 050=125
Settling pond						
Filtre sous le perré sur la partie supérieure du barrage						
Filtre autour du drain en gravier au pied aval						
4. LOY YANG		1979	1979	4 100	D1:4/1	0.44 085=68 050=28
Overburden Runoff Treatment Plant						
Filtre sous toute la face du barrage						
340 085=72 050=30						
5. LOY YANG	41m	1981	1981	6 500	D1:4	0.34 085=64 050=26
Ash pond dam						
Filtre sous le perré sur la partie supérieure du barrage						
6. MYUNA BAY		1980-1982	1981	70 000	G1:4/2	1.1 050=70
Ash lagoon dam						
Filtre sous le tapis de drainage aval						
Comme membrane de séparation perméable au-dessus de tapis de drainage aval						
70 000 D1:4 0.35						
Filtre sous le perré à l'amont						
70 000 D1:4 0.35						

No. Pays et nom du barrage	Hauteur au-dessus du niveau le plus bas de la fondation	Date	Construction du barrage	Installation textile	Emplacement et but du filtre	Surface (m ²)	Classification du textile		Renseignements du fabricant*	
							Catégorie	Matériau	Poids (kg/m ²)	Dimension nominale des vides (microns)
7. VALES PT. Ash dam		1982	1982		Filtre autour du tapis de drainage en gravier	2 000	D1:4		0.2	-
8. TALLAWARRA		1982	1982		Filtre autour du tapis de drainage en gravier	7 000	Tendering			
9. HAZELWOOD Ash pond No. 4	18m	1982	1982		Filtre sous le perré sur la partie supérieure de la face du barrage	20 000	Tendering		0.34	085=64 050=26
<u>AUTRICHE</u>										
- 1. GEPATSCH	153m	1966	1973-82		Protection des pentes très inclinées des rives du réservoir contre le lavage des particules fines par l'action des vagues.	15 000	D1:4		0.300	D98=240
2. BOLGENACH	92m	1979	1978-80		"... est employé comme protection pour les tranchées de drainage remplies de granules grossiers dans le corps du barrage et dans les drains-cheminées qui sont inclinés dans les flancs du barrage", comme tapis de drainage dans la	8 506	A3:4		0.136	1350
						12 000	D3:2		0.400	Dw=70

3.	BOCKHARTSEE	33m	1982	1982	1982	4 132	D3:3	4.4	(impermeable)	fondation et comme protection pour le drainage en printemps.
										Textile recouvert de bitume, a été collé sur le mur de béton interne d'étanchéité pour réduire les forces de friction de l'enrochement sur le mur et aussi pour sceller les fissures possibles dans le mur.
4.	MELK	29m	1981	1981	1981	Environ 1 000	A3:4	0.136	1350	Sur les pentes sous le perré comme protection contre le lavage des particules fines provoqué par l'action des vagues.
5.	GREIFENSTEIN	31m	1983	1983	1983	1 000	D3:2	0.400	70	
<u>CANADA</u>										
1.	HIGHLAND VALLEY	-	-	-	-		B2:2(67%) :3(33%)			Au-dessus et en dessous du tapis de drainage à la base du barrage
2.	BARRAGES HYDRO-QUEBEC									
2-1	Reservoir LG 3 (Bate James, Quebec)									
2-1-1	Batardeau No 4		1977-81	1977	1977	30 000	B2:1	0.5	70	Filtre et transition entre le noyau amont et la rive en enrochement
2-1-2	Remblai Frigate (GA-1)	15m	1981	1981	1981	3 000	B2:4	1.36	30-150	Transition entre le matériau toutvenant et le noyau de moraine
						5 000	B2:4	0.8	30-150	Filtre et transition entre le noyau de moraine et la rive constituée de matériaux granulaires.

No. Pays et nom du barrage	Hauteur au-dessus du niveau le plus bas de la fondation	Date		Emplacement et but du filtre	Surface (m ²)	Classification du textile	Renseignements du fabricant*	
		Construction du barrage	Installation du textile				Catégorie: Matériau	Poids (kg/m ²)
2-1-3 Detournement temporaire remblai TA-3ZD	49m	1979-80	1978	Filtre et transition entre l'enrochement et le mort-terrain, protection contre l'érosion.	2 000	B2:4	0.5	70
2-2 Reservoir CANIPISCAU (Baie James Quebec)								
2-2-1 Batardeaux barrage KA-3		1977-81	1977	Filtre et transition entre la moraine amont et l'enrochement déversé.	70 000	B2:1	0.5	70
2-2-2 Barrage KA-3	56m	1979	1977	Transition entre le mort-terrain constituée de moraine et les épaulements en enrochement	10 000	B2:4	1.6	100-150
2-2-3 Batardeaux barrage KA-5 et digues KA-12 et KA-13	49m 32m 31m	1979-81	1978-79	Filtre et transition entre le remblai en enrochement et la moraine déversée en amont	50 000	B2:2	0.37	30-150
2-2-4 Barrage KA-5 digues KA-6 KA-11 et KA-12	49m, 21m 21m 32m	1980	1978/79	Transition entre le mort-terrain constituée de moraine et les épaulements en enrochement	140 000	B2:4	1.6	100-150
2-2-5 Batardeau au barrage KD-1 (retournement Fontanges)	25m	1981-82	1981	Filtre et transition entre l'enrochement et la moraine déversée en amont	20 000	B2:4	0.37	30-150
Detournement temporaire		1981-82	1981	Filtre et protection contre l'érosion	14 000	B2:4	0.28	30-150
2-3 LG 4 (Baie James, Quebec)								
Batardeau	80m	1978-81	1978	Filtre et transition entre l'enrochement et la moraine déversée en amont.	500	B2:4	0.37	30-150
					400	B2:4	0.27	70
					400	R2:1	0.50	

2-4 LG 1 (Baie James, Quebec)

Batardeau	1979	1979	40 000	B2:1	1.60	100-150
			14 000	B2:1	0.27	130
2-5 LA LOUTRE	1981		500	B2:4	2.50	150
<u>COTE D'IVCIRE</u>						
1. BONGOUANOU				B2:2 :3		
<u>ETATS-UNIS</u>						
1. INDIANTOWN	1979/80		(((1.25M(D:2 D:2	0.50 0.25	- -
2. SAM RAYBURN	1982			E:2(67%) :3(33%)	0.14	0 ₉₀ =100 0 ₅₀ =70
				B1:2	0.14	-
3. COLUMBIA LAKE				B1:2	0.14	-
4. POMFRET 4-H				B1:2	0.14	-
5. BLUE RIDGE MTN (N. Carolina)	1977		12 540	B1:2	0.14	70

No. Pays et nom du barrage	Hauteur au-dessus du niveau le plus bas de la fondation	Date		Emplacement et but du filtre	Surface (m ²)	Classification du textile		Renseignements du fabricant*		
		Construction du barrage	Installation textile			Catégorie: Matériau	Poids (kg/m ²)	Dimension nominale des vides (microns)		
6. LAVON LAKE			1982	Réfection d'un glissement sur la face aval; filtre entre le remblai original et l'enrochement de réfection.	-	-	-	-	-	
<u>FINLANDE</u>										
1. MAARIA		1980	1980	Filtre entre le noyau d'argile et la zone de transition de gravier sablonneux.	6 500	D3:2	0.250	-	-	
2. VAJUKOSKI		1982-84	1983	Filtre entre le noyau de moraine et les remblais en enrochement.	23 000	D1:4	0.900	-	-	
<u>FRANCE</u>										
1. LONGEFAN		1977	1977	Revêtement du drain de relâchement de pression amont	-	B2:2(67%) : 3(33%)	-	-	-	
2. LE FLUMET	18m	1975-77	1975	-	-	75,000	B2:2	-	-	
3. VALCROS	16m	1970	1970	Drain aval comprenant 195m ³ de gravier de 8-13 mm.	1 450	D1:4	0.27	105	90	
				Pente amont, sous des blocs de pierre de 25 cm reposant sur 15 cm de gravier de 6-40 mm.	1 500	D1:4	0.34	90	90	
				Pente amont, pas de recouvrement.	850	D1:4	0.34	90	90	

4.	BRUGNENS	1973	1973	1973	Drains-cheminées	3 000	D1:4	0.55	55
5.	ARC ISERE	-	1976	1976	Prévention de l'érosion en amont, protection du drain en aval	200 000	B2:2(67%) :3(33%)		
6.	LA VALIERE	18m	1976	1976	En amont sous le perré; en aval autour du drain de pied horizontal	27 000	D1:4	0.34	90
7.	RILLE	12m	1976	1976	En aval autour du drain de pied horizontal	28 000	D1:4	0.55	55
8.	MAUREPAS	17m	1976	1976	Remblai amont	6 000	D1:2	0.29	85
9.	L'ESTRADE	28m	1978	1978	Séparation aval entre le drain horizontal et le matériau de recharge	7 000			
10.	ST PIERRE MANZO	30m	1978	1978	Séparation amont entre les fondations et les zones de transition sous le matériau de recharge	-	D1:4(90%) D1:2(10%)	0.34 0.37	- -
11.	L'OSPEDALE	26m	1979	1979	Protection amont à un mince tapis imperméable	8 000	D1:4	0.27	-
12.	PUY-TERRIER	26m	1982	1982	Remblai amont sous le perré	15 000	D1:2	0.60	-
13.	CODOLE	28m	1980-83	1983	Protection amont à une mince membrane imperméable	32 000	D1:9	0.40	70
14.	VERNEY	42m	1980-83	1981	Protection du drain horizontal.	28 000 34 000	D7:4 D7:4	0.34 0.27	90 105
<u>HONG KONG</u>									
1.	HIGH ISLAND	10m 40m 60m	1973	1973	Dans des batardeaux pour la séparation entre le fond de mer et l'enrochement et pour la séparation entre le remplissage hydraulique de sable et les façades des remblais en enrochement et terre.	118 700 60 700	B2:2(75%) :1(25%)	1.36	-

No. Pays et nom du barrage	Hauteur au-dessus du niveau le plus bas de la fondation	Date		Emplacement et hut du filtre	Surface (m ²)	Classification du textile	Renseignements du fabricant*		
		Construction du barrage	Installation du textile				Poids (kg/m ²)	Dimension nominale des vides (microns)	
<u>INDE</u>									
1. DHAROI DAM DYKE 1		1972-76	1981	a) comme filtre sous la berge de chargement au pied aval pour prévenir l'érosion due à écoulement souterrain	400	-	0.309	130-180	
				h) comme filtre autour des tuyaux des puits de relâchement de pressions pour prévenir l'érosion du sol environnant.	50	-	0.309	130-180	
<u>ITALIE</u>									
1. EDOLO		1980-82	1980	Filtre de pied amont, enrobé autour de la couche filtre. Sous le fond du réservoir construit en béton bitumineux.	160 000	D1:2	0.35	0 ₉₈ =150	
2. SIMBIRIZZI	22m	1983-85	1984	Protection et support.	40 000	D1:4	0.34	0 ₉₅ =100	
				Filtre en contact avec la couche d'argile silteuse	85 000	B2:3/4	0.24	0 ₉₅ -95	
				Protection.	125 000	D1:2	0.40	?	
3. CASTRECCIONI		1983-85	1984	Pas comme filtre, mais comme protection de la géomembrane.	100 000	D1:4	0.50	0 ₉₅ =80	

No. Pays et nom du barrage	Hauteur au-dessus du niveau le plus bas de la fondation	Date		Emplacement et but du filtre	Surface (m ²)	Classification du textile		Renseignements du fabricant*	
		Construction du barrage	Installation du textile			Catégorie: Matériau	Poids (kg/m ²)	Dimension nominale des vides (microns)	
<u>MALAISIE</u>									
1. BUKIT MERAH		Début des années 1900	1976	Filtre de pied aval.	-	B2:1(75%)	0.14 :2(29%)	130	
<u>NIGERIA</u>									
1. GORONYO	21m	1980-83	1981	Drain de pied aval, tapis filtrant horizontal	300 000	B1:2	0.27	098=57	
<u>NORVEGE</u>									
1. FRIDALSVATN		1975	1975	Amont et aval.		B2:1(75%) :2(29%)	0.28	43	
<u>REP. FED. D'ALLEMAGNE</u>									
1. GROSSE DHUNN		-	-	Couche de séparation entre le sol de fondation et l'enrochement. Travail aussi comme filtre pour prévenir la migration des particules fines dans l'enrochement. Durant la construction, filtre empêchant que le coulis d'injection ne pénétre dans l'enrochement durant l'injection de la fondation	-	D7:2	0.25	-	
2. KINZING		-	-	Partie d'un sol filtre gradué entre la fondation et le remblai en terre.	30 000	B2:1 (75%) :2 (29%)	0.28	43	

No. Pays et nom du barrage	Hauteur au-dessus du niveau le plus bas de la fondation	Construction du barrage	Date	Installation du textile	Emplacement et but du filtre	Surface (m ²)	Classification du textile		Renseignements du fabricant*	
							Catégorie: Matériau	Poids (kg/m ²)	Dimension nominale des vides (microns)	
3. FORMITZ		1977	1973/75		Face aval verticale du noyau d'un barrage en terre constitué d'un "mur diaphragme sec". Filtre la migration des particules fines	9 200	-	-	1.20	
4. FRAUENAU	86m	1982	1976/80		Comme l'exemple 3, plus rôle de filtre de la fondation en aval.	27 000	-	-	-	
<u>ROYAUME UNI</u>										
1. LOUGH ISLAND REAVY	13m	1840	1977/78		Sur la pente en terre sous un filtre de minéraux gradués pour permettre le drainage avec rétention des particules vers une berme additionnelle en enrochement à l'aval	2 100	B2:2(67%) :3(33%)	0.14	70	
2. UPPER S. WOODBURN	22m	1868	1979		Comme exemple 1. (200 mm de 60 mm et moins)	2 100	B2:2(70%) :3(30%)	0.14	70	
3. COPELAND	19m	1879	1979		Comme exemple 1. (200 mm de 60 mm et moins)	6 600	B2	0.14	70	
4. LEATHMSTOWN	19m	1891	1979		Comme exemple 1. (75 mm de poussière sur 125 mm de particules de 60 mm et moins)	900	B1:2	0.136	120	
5. BALL YDOOLAGH		1870	1981		Comme exemple 1. (200 mm de particules de 37,5 mm et moins)	700	B2:2(70%) :3(30%)	0.14	70	

6. GLENHORDIAL	1904	1981	1981	1 420	B1:2	0.136	120	
				Comme exemple 1. (80 mm de particules de 6 mm + 200 mm de particules de 37,5 mm et moins)				
7. FRANKLEY	1979	1979	1979	Sur la face amont du remblai sous un matelas de gabions pour la protection contre les vagues	B2:2(70%):3(30%)	0.14	70	
8. MILLBROOK	1981	1981	1981	Couche de séparation entre le remblai en terre et l'argille à porcelain mise au rebut comme fondation	B2: Do.	0.24	23	
9. WASH OFFSHORE TRIAL BANK	1975	1975	1975	14m				
				a) Sous le pied en gravier étendu sur le fond de la mer	:2(99%):4(9%)	0.17		
				h) Entre le filtre de sable grossier No.1 et le filtre de scories No.2 sur la façade donnant vers la mer	B2:1(25%):2(79%)	0.14	090=200 050=120	
<u>TCHECOSLOVAQUIE</u>								
1. NOVE MLYNY I	1974-1979							
FLANKDAM BY PASOHLAVKY		1978	1978	2 500	B	0.30	050=150 0 min=40 0 max=250	
MIDDLE DAM		1977-78	1977-78	10 372	B	0.30		
MIDDLE DAM		1977	1977	31 000	B	0.30	"	
FLANKDAM BY STRACHOTIN		1977	1977	25 188	B	0.30	"	
2. ASHDAM OLOMOUC		1978	1978	9 817	B	0.30	"	
				Membrane de séparation aval entourant le drain horizontal				

No. Pays et nom du barrage	Hauteur au-dessus du niveau le plus bas de la fondation	Date		Emplacement et but du filtre	Surface (m ²)	Classification du textile		Renseignements du fabricant*		
		Construction du barrage	Installation du textile			Catégorie: Matériau	Poids (kg/m ²)	Dimension nominale des vides (microns)		
3. VD NOVE MLYNY II		1982-86	-	Filtre sous le perré entre le gravier et le noyau.	353 243	B		0.30	"	
4. KAROLINKA	35		1980-83	Filtre entre la pente de d'appui et le remblai.	20 000	B		0.30 0 _{max} =280	050=180 0 _{min} =90	
<u>THAILANDE</u>										
1. PITTSANULOK		1978-80	1979	Face amont sous 500mm de perré; drain de pied aval comprenant un tapis de sable de 300 mm d'épaisseur s'étendant à l'intérieur vers le noyau	12 000	A1:2		0.14		
2. KASIAN		1981	1981	Filtre entourant le tapis de drainage en gravier	4 000	B2:2(70%) :3(30%)		0.14	090=100 050=70	

No.	Country and dam	Height above lowest foundation	Dam construction	Date		Fabric installed	Location and function of filter	Area (m ²)	Fabric classification	Data from manufacturer*	
				1976-77	1977					Category: Material	Weight (kg/m ²)
<u>AUSTRALIA</u>											
1.	BEN BOYD	30m	1976-77	1977		Under a conventional horizontal drainage layer. Under downstream side of embankment.	7,000	B2:2(70%):3(30%)	0.1	120 - 180	
2.	COLLINSVILLE Ash dam		1978	1978		Filter around gravel drainage layer	10,000	B2:2(70%):3(30%)	0.2	090=60 050=40	
3.	LOY YANG Settling pond	17m	1979	1979		Filter under riprap on upper face of dam	2,900	B2:2(70%):3(30%)	0.14	090=175 050=125	
4.	LOY YANG Overburden Runoff Treatment Plant		1979	1979		Filter around gravel drainage at d/s toe	5,800	B2:2(70%):3(30%)	0.14	090=175 050=125	
						Filter under riprap on full face of dam	4,100	D1:4/1	0.44	085=68 050=28 085=72 050=30	
							250	D1:4	0.27		
							340	D1:4	0.21		
5.	LOY YANG Ash pond dam	41m	1981	1981		Filter under riprap on upper face of dam	6,500	D1:4	0.34	085=64 050=26	
6.	MYUNA BAY Ash lagoon dam		1980-1982	1981		Filter underneath d/s blanket layer	70,000	G1:4/2	1.1	050=70	
						Permeable separator over d/s blanket drain	70,000	D1:4	0.35	-	
						Filter under u/s riprap	70,000	D1:4	0.35	-	

No.	Country and dam	Height above lowest foundation	Dam construction	Date		Fabric installed	Location and function of filter	Area (m ²)	Fabric classification		Data from manufacturer*		
				1982	1982				Category: Material	Nominal pore size (micron)	Weight (kg/m ²)		
7.	VALES PT. Ash dam		1982	1982		1982	Filter around gravel drainage blanket	2,000	D1:4		0.2	-	
8.	TALLAWARRA		1982	1982	1982	1982	Filter around gravel drainage blanket	7,000	Tendering				
							Filter under riprap on upper face of dam	20,000	Tendering				
9.	HAZELWOOD Ash pond No. 4	18m	1982	1982	1982	1982	Filter under riprap on upper face of dam	9,400	D1:4		0.34	085=64 050=26	
	<u>AUSTRIA</u>												
1.	GEPATSCH	153m	1966	1973-82	1973-82	1973-82	Protection of very steep slopes of reservoir against washing out of fine aggregates of soil through wave action	15,000	D1:4		0.300		D98=240
2.	BOLGENACH	92m	1979	1978-80	1978-80	1978-80	"... is used as protection for the over-grain filled drainage trenches in the dam body and in chimney-drains, sloping further in the dam foundation as drainage blanket, and protection for spring drainage.	8,506 and 12,000	A3:4 D3:2		0.136 0.400	1350 DW=70	
3.	BOCKHARTSEE	33m	1982	1982	1982	1982	Bitumen coated fabric was glued on the	4,132	D3:3		4.4		(impermeable)

4.	MELK	29m	1981	1981	concrete core wall to reduce friction forces of rockfill on the wall and also to seal possible cracks in the wall.	Some 1,000 and some 1,000	A3:4	0.136	1350	
5.	GREIFENSTEIN	31m	1983	1983	In slopes underneath of the riprap as protection against washing out of fines through wave action.	1,000	D3:2	0.400	70	
<u>CANADA</u>										
1.	HIGHLAND VALLEY	-	-	-	Top & bottom of blanket drain along dam base		B2:2(67%) :3(33%)			
2. COMPETENCE BARRAGES HYDRO-QUEBEC										
2-1 LG 3 Reservoir (James Bay, Quebec)										
2-1-1	Cofferdam No 4		1977-81	1977	Filter and transition between u/s core and rockfill bank	30,000	B2:1	0.5	70	
2-1-2	Fregate embankment (GA-1)	15m	1981	1981	Transition between pitching and moraine fill core	3,000	B2:4	1.36	30-150	
2-1-3	Temporary diversion Embankment TA-32D	49m	1979-80	1978	Filter and transition between moraine fill core and granular bank	5,000	B2:4	0.8	30-150	
2-2	CANIA-PISCAU reservoir (James Bay, Quebec)				Filter and transition between rockfill and overburden, protection against erosion.	2,000	B2:4	0.5	70	
2-2-1	Cofferdams,KA 3 dam		1977-81	1977	Filter and transition between u/s moraine and dumped rockfill.	70,000	B2:1	0.5	70	

No.	Country and dam	Height above lowest foundation	Date		Fabric installed	Location and function of filter	Area (m ²)	Fabric classification	Data from manufacturer*	
			Dam construction	1979					Weight (kg/m ²)	Nominal pore size (micron)
2-2-2	KA 3 dam	56m	1979	1977	Transition between morainic overburden and rockfill shoulders	10,000	B2:4	1.6	100-150	
2-2-3	Cofferdams - KA 5 dam and KA 12 and KA 13 embankments	49m, 21m and 32m	1979-81	1978-79	Filter and transition between rockfill embankment and dumped u/s moraine fill	50,000	B2:2	0.37	30-150	
2-2-4	KA 5 dam, KA 6, KA 11 and KA 12 embankments	49m, 21m and 32m	1980	1978/79	Transition between morainic overburden and rockfill shoulders	140,000	B2:4	1.6	100-150	
2-2-5	Cofferdam at KD 1 dam (Fontages diversion)	25m	1981-82	1981	Filter and transition between dumped u/s moraine fill and rockfill	20,000	B2:4	0.37	30-150	
2-3	Temporary diversion LG 4 (James Bay, Quebec)		1981-82	1981	Filter and erosion protection	14,000	B2:4	0.28	30-150	
	Cofferdam	80m	1978-81	1978	Filter and transition between dumped u/s moraine fill and rockfill.	500	B2:4	0.37	30-150	
						400	B2:4	0.27	70	
2-4	LG 1 (James Bay, Quebec)					400	B2:1	0.50	100-150	
	Cofferdam		1979	1979	Filter and transition between compacted central core and rockfill	40,000	B2:1	1.60	100-150	
					Filter between rockfill cofferdam and dumped moraine fill.	14,000	B2:1	0.27	130	
2-5	LA LOUTRE			1981	Repair and raising of existing dam. U/s and	500	B2:4	2.50	150	

CZECHOSLOVAKIA		d/s separator between fill and concrete block surfacing	
1.	NOVE MLYNY I	1974-79	
	FLANKDAM BY PASOHLAVKY	1978	Filter under riprap between gravel and core. 0.30 0.50=150 0min=40 0max=250
	MIDDLE DAM	1977-78	Internal filter between core and gravel shell. 0.30
	MIDDLE DAM	1977	Separation and anti-contamination in foundation. 0.30
	FLANKDAM BY STRACHOTIN	1977	Internal filter between core and gravel shell. 0.30
2.	ASHDAM OLOMOUČ	1978	d/s separator around horizontal drain. 0.30
3.	VD NOVE MLYNY II	1982-86	Filter under riprap between gravel and core. 0.30
4.	KAROLINKA	35 1980-83	Slope filter between embankment and abutment. 0.30 0.50=180 0min=90 0max=280
<u>FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY</u>			
1.	GROSSE DHUNN	-	Separating layer between foundation soil and rock fill. Also to work as a filter, preventing migration of fines into rockfill. During construction, filter prevented intrusion of grout into the fill during foundation grouting. 0.25 D7:2 -
2.	KINZING	-	Part of a graded soil-filter between the foundation and earth fill. 0.28 R2:1 (75%) :2 (25%) 43

No.	Country and dam	Height above lowest foundation	Dam construction	Date		Fabric installed	Location and function of filter	Area (m ²)	Fabric classification	Data from manufacturer*	
				1977	1973/75					Weight (kg/m ²)	Nominal pore size (micron)
3.	FORMITZ		1977		1973/75		d/s face of vertical "dry diaphragm wall" core in earthfill dam. Filters out migrating fines.	9,200	-	-	1.20
4.	FRAUENAU	86m	1982		1976/80		As example 3, plus d/s foundation filter.	27 000	-	-	-
<u>FINLAND</u>											
1.	MAARIA	-	1980		1980		Filter between clay core and sandy gravel transition zone.	6,500	D3:2	0.250	-
2.	VAJUKOSKI	-	1982-84		1983		Filter between moraine core and rockfill embankments.	23,000	D1:4	0.900	-
<u>FRANCE</u>											
1.	LONGEFAN		1977		1977		u/s relief drain lining		B2:2(67%) :3(33%)	-	-
2.	LE FLUMET	18m	1975-77		1975		-		75,000	B2:2	-
3.	VALCROS	16m	1970		1970		d/s drain, enclosing 195m ³ of 8-13 mm gravel	1,450	D1:4	0.27	105
							u/s slope, beneath 25cm stone blocks on 15cm of 6-40mm gravel	1,500	D1:4	0.34	90
							u/s slope, no covering	850	D1:4	0.34	90

4.	BRUGNENS	1973	1973	1973	Chimney drains	3,000	D1:4	0.55	55
5.	ARC D'ISERE	-	1976	1976	u/s erosion prevention, d/s drain protection	200,000	B2:2(67%) :3(33%)		
6.	LA VALIÈRE	1976	1976	1976	u/s beneath rip-rap; d/s around horizontal toe drain	27,000	D1:4	0.34	90
7.	RILLE	1976	1976	1976	d/s around horizontal toe drain	28,000	D1:4	0.55	55
8.	MAUREPAS	1976	1976	1976	u/s embankment	6,000	D1:2	0.29	85
9.	L'ESTRADE	1978	1978	1978	d/s separation between horizontal drain and recharge material	7,000			
10.	ST PIERRE MANZO	1978	1978	1978	u/s separation between foundations and transition zones under recharge material	-	D1:4(90%) D1:2(10%)	0.34 0.37	- -
11.	L'OSPEDALE	1979	1979	1979	u/s protection to thin impervious blanket	8,000	D1:4	0.27	-
12.	PUY-TERRIER	1982	1982	1982	u/s embankment, beneath rip-rap	15,000	D1:2	0.60	-
13.	CODOLE	1980-83	1983	1983	u/s protection to thin impervious membrane	32,000	D1:9	0.40	70
14.	VERNEY	1980-83	1981	1981	Protection of horizontal drain.	28,000 34,000	D7:4 D7:4	0.34 0.27	90 105
<u>HONG KONG</u>									
1.	HIGH ISLAND	1973	1973	1973	In coffer dams for separation between seabed and rockfill bunds and for separation between hydraulic sand fill and faces of rockfill bunds.	118,700	B2:2(75%) :1(25%)	.136	-
						60,700			

No.	Country and dam	Height above lowest foundation	Date		Fabric installed	Location and function of filter	Area (m ²)	Fabric classification	Data from manufacturer*	
			Dam construction						Weight (kg/m ²)	Nominal pore size (micron)
<u>INDIA</u>										
1.	DHAROI DAM DYKE 1		1972-76	1981		a) as filter below loading berm at the d/s toe to prevent erosion due to under seepage b) as a filter around relief well pipes to prevent erosion of surrounding soil.	400	-	0.309	130-180
							50	-	0.309	130-180
<u>ITALY</u>										
1.	EDOLO		1980-82	1980		u/s toe filter, wrapped around filter layer. Also under impervious bituminous concrete reservoir floor	160,000	D1:2	0.35	0 ₉₈ =150
2.	SIMBIRIZZI	22m	1983-85	1984		Protection and support. Filter in contact with the clay silt layer. Protection.	40,000 85,000 125,000	D1:4 B2:3/4 D1:2	0.34 0.24 0.40	0 ₉₅ =100 0 ₉₅ -95 ?
3.	CASTRECCIONI		1983-85	1984		Not as filter, but as geomembrane protection.	100,000	D1:4	0.50	0 ₉₅ =80
<u>IVORY COAST</u>										
1.	BONGOUANOU		-	-		d/s slope erosion prevention beneath concrete facing blocks	-	B2:2 :3	-	-

No. Country and dam	Height above lowest foundation	Dam construction	Date		Fabric installed	Location and function of filter	Area (m ²)	Fabric classification	Data from manufacturer*	
			early 1900s	1976					Weight (kg/m ²)	Nominal pore size (micron)
<u>MALAYSIA</u>										
1. BUKIT MERAH		early 1900s	1976		d/s toe filter	-	B2:1(75%)	0.14	130	
<u>NIGERIA</u>										
1. GORONYO	21m	1980-83	1981		d/s toe drain, horizontal filter layer	300,000	B1:2	0.27	098=57	
<u>NORWAY</u>										
1. FRIDALSVATN		1975	1975		u/s and d/s		B2:1(75%) :2(29%)	0.28	43	
<u>SOUTH AFRICA</u>										
1. MIDDLE LETABA	39m	1977-85	-		Under riprap, surrounding chimney drain and toe drain.	134,000	D1:4	0.34	29-52	
2. KILBURN	51m	1976-81	1977-79		a. As a barrier between upstream riprap and fill to prevent erosion of fine fill during rapid drawdown. b. On downstream face of chimney drain to supplement natural filter in preventing erosion of fill into drain. c. Similar to b. between fill and toe drain.	37,000	D1:4	0.34	29-52	
						18,200	D1:4	0.21	28-50	
						7,000	D1:4	0.21	28-50	

No.	Country and dam	Height above lowest foundation	Date		Fabric installed	Location and function of filter	Area (m ²)	Fabric classification		Data from manufacturer*	
			Dam construction	1977-80				Category: Material	Weight (kg/m ²)	Nominal pore size (micron)	
3.	HANS STRIJDOM	56m	1975-80	1977-80		On upstream and downstream faces of sloping central core between core and sand layer of filters to supplement natural filter in protection of poor core material in rock fill embankment.	72,000	D1:4	0.34	29-52	
4.	RIETFontein WEIR		1976-79	-		Under riprap, surrounding toe drain	3,000	D1:4	0.34	29-52	
5.	DISANENG		1980	-		Under riprap, surrounding chimney drain.	36,500	D1:4	0.27	29-51	
6.	ELANDSPRUIT	95m	1978-85	-		Under riprap, surrounding toe drain and blanket drain.	145,000	D1:4	0.34	29-52	
7.	KOGELBERG	52m	1983-87	-		Under riprap, surrounding toe, chimney and blanket drains.	20,000	D1:4	0.34	29-52	
8.	GOEDERTROUW	88m	1978-83	-		Surrounding toe drain.	10,000	D1:4	0.34	29-52	
9.	VAAL DAM (Raising)		1980-83	-		Between d/s slope and new fill.	50,000	D1:4	0.34	29-52	
10.	TRICHARDFontein	26m	1976-79	-		Under riprap, surrounding toe drain.	48,000	D1:4	0.34	29-52	
11.	BOSSIESPRUIT		1976-79	-		Under riprap, surrounding toe drain.	20,000	D1:4	0.34	29-52	

12. CHELMSFORD DAM (Raising)	1979-83	-	Under riprap.	-	D1:4	0.34	29-52
13. BRANDVLEI	1976	-	Under riprap.	-	D1:4	0.34	29-52
14. WINBURG	-	-	Under riprap, surrounding toe drain.	20,000	D1:4	0.34	29-52
15. VONDO	1980-83	-	Under riprap, surrounding toe drain.	20,000	D1:4	0.27	29-51
16. SOUTH NDEBELE	1980-83	-	Upstream concrete block protection.	20,000	D1:4	0.21	28-50
17. BLOEMHOF	1975?	-	Under riprap.	-	D1:4	0.34	29-52
18. UMTATA	-	-	Under riprap, surrounding toe drain.	-	D1:4	-	-
19. SANDILE	-	-	Under riprap.	-	D1:4	-	-
20. ZUIKERBOSCH FOREBAY	1981-83	-	Under riprap, surrounding toe drain.	50,000	D1:4	0.34	29-52
21. OTJIVERO	? -1983	-	Under riprap, u/s and d/s.	30,000	D1:4	0.34	29-52.
22. VIRGINIA	1981-82	-	Under riprap, surrounding toe drain.	20,000	D1:4	0.34	29-52
23. GABERONE	1983-?	-	Under gabions	25,000	D1:4	0.15	28-50
24. LETHABO STORMWATER	1982-83	-	Under riprap.	-	D1:4	0.21	28-50
25. TUTUKA RESERVOIR	1982-83	-	Under riprap, surrounding blanket drain.	80,000	D1:4	0.34	29-52
26. DUJVA RESERVOIR	1977-79	-	Under riprap, surrounding toe drain.	100,000	D1:4	0.21	28-50
27. MATLA RESERVOIR	1977-79	-	Under drains.	6,000	D1:4	0.15	28-50
28. KRIEL ASHWATER	1982-83	-	Under riprap.	6,000	D1:4	0.21	28-50

No.	Country and dam	Height above lowest foundation	Date		Fabric installed	Location and function of filter	Area (m ²)	Fabric classification		Data from manufacturer*	
			Dam construction					Category: Material	Weight (kg/m ²)	Nominal pore size (micron)	
29.	MATIMBA STORMWATER		1982-83	-	Under riprap.	-	-	D1:4	-	-	-
30.	TUTUKA POLLUTION CONTROL		1982-83	-	Under riprap.	-	-	D1:4	-	-	-
31.	KENDAL SEWER EFFLUENT		1983	-	Under riprap, surrounding toe drain.	5,000	0.21	D1:4	0.21	28-50	
						2,000	0.34			29-52	
32.	ORAPA		1979-80	-	Under riprap.	120,000	0.21	D1:4	0.21	28-50	
33.	RIETSPRUIT	22m	1979	-	Under riprap, surrounding toe drain.	15,000	0.34	D1:4	0.34	29-52	
34.	ERGO TAILINGS		1977-79	1977,79	Filter around drainage lines under perimeter wall.	71,000	0.15	D1:4	0.15	30-54	
35.	CROWN SANDS SLIMES		1981-82	1981	Filter around toe drains.	77,500	0.15	D1:4	0.15	30-54	

Note: In addition geotextiles have been used in over 60 mine, tailings and power station ash dams in quantities from about 50,000 m² to over 100,000 m² per project.

THAILAND

1.	PITSANULOK		1978-80	1979	u/s face, under 500mm of rip-rap; d/s toe drain, enclosing 300mm thick sand layer extending in towards core	12,000	0.14	A1:2	0.14		
2.	KASIAN		1981	1981	Filter around gravel drainage blanket	4,000	0.14	B2:2(70%):3(30%)	0.14	0 ₉₀ =100 0 ₅₀ =70	

UNITED KINGDOM

1.	LOUGH ISLAND REAVY	13m	1840	1977/78	On d/s earth slope, beneath graded mineral filter to allow drainage, with soil retention, into additional d/s rock-fill berm.	2,100	B2:2(67%) :3(33%)	0.14	70
2.	UPPER S. WOODBURN	22m	1868	1979	As example 1.(200mm of 60mm down)	2,100	B2:2(70%) :3(30%)	0.14	70
3.	COPELAND	19m	1879	1979	As example 1.(200mm of 60mm down)	6,600	B2	0.14	70
4.	LEATHEMSTOWN	19m	1891	1979	As example 1.(75mm dust on 125mm of 60mm down)	900	B1:2	0.136	120
5.	BALLYDOOLAGH		1870	1981	As example 1.(200mm of 37.5mm down)	700	B2:2(70%) :3(30%)	0.14	70
6.	GLENHORDIAL		1904	1981	As example 1.(80mm of 6mm +1,420 200mm of 37.5mm down)	1,420	B1:2	0.136	120
7.	FRANKLEY		1979	1979	On u/s embankment face, beneath mattress gabions wave protection		B2:2(70%) :3(30%)	0.14	70
8.	MILLBROOK		1981	1981	Separation layer between embankment fill and china clay waste foundation		B2: Do.	0.24	23
9.	WASH OFFSHORE TRIAL BANK	14m	1975	1975	a) Under gravel toe laid on sea bed b) Between coarse sand filter 1 and slag filter 2 on seaward face	13,000 15,000	:2(99%) :4(9%) B2:1(25%) :2(79%)	0.17 0.14	0 ₉₀ =200 0 ₅₀ =120

UNITED STATES OF AMERICA

1.	INDIANTOWN			1979/80	d/s face and toe drain. Remedial work;	(D:2	0.50	-
----	------------	--	--	---------	--	---	-----	------	---

2. SAM RAYBURN	1982	two layers of fabric sandwiching 300mm gravel layer under new sand and earthfill	1.25M(D:2	0.25	-
3. COLUMBIA LAKE		Repair; filter under riprap bedding.	E:2(67%) :3(33%)	0.14	0.90=100 0.50=70	
		d/s toe, beneath crushed stone toe stabilising block	B1:2	0.14		
4. POMFRET 4-H		As example 3.	B1:2	0.14		
5. BLUE RIDGE MTN (N. Carolina)	1977	Wrapped around gravel drainage blanket between existing earthfill and stabilising soil buttress/rock toe on d/s face	12,540	B1:2	0.14	70
6. LAVON LAKE	1982	Repair of slide failure on d/s face; filter between original fill and rockfill repair.	-	-	-	-

ANNEXE 3

Organismes intéressés à la recherche.

APPENDIX 3

Organisations with research interest.

1. IRIGM, Université de Grenoble, France.
2. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Lyon, France.
3. Franzius Institute, University of Hanover, Germany.
4. US Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, USA.
5. French Textile Institute Laboratory (ITF), Boulogne sur Seine, France.
6. Laboratoire Regional de St-Brieuc, France.
7. University of Strathclyde, Glasgow, UK.
8. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK.
9. Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, France.
10. CERTI, University of Edinburgh, UK.
11. Lambeg Industrial Research Association, UK.
12. Norwegian Geotechnical Institute, Norway.
13. CSIRO Division of Applied Geomechanics, Australia.
14. Rijkswegenbouwlaboratorium (National Road Research Laboratory) Delft, Holland.
15. University of Illinois, Urbana, USA.
16. Delft Hydraulics Laboratory, Holland.
17. School of Engineering, University of Connecticut, USA.
18. US Army Corps of Engineers, USA.
19. ENEL, Italy.
20. Société d'Energie de la Baie James, Québec, Canada.
21. Colorado State University, Fort Collins, USA.
22. Department of Civil Engineering, University of Sheffield, UK.
23. University of Connecticut, USA.
24. University of Tennessee, USA.
25. Construction Industry Research and Information Association, UK.
26. Research Institute for Civil Engineering, Bratislava, Czechoslovakia.
27. Scientific Research Institute for Hydraulic and Water Economics Engineering, Technical University, Brno, Czechoslovakia.
28. University of Innsbruck, Austria; Institute for Soil and Rock Mechanics.
29. Bautechnische Versuchs - und Forschungsanstalt, Salzburg, Austria.
30. Hydraulic Engineering Research Institute, Bucharest, Rumania.
31. Babes-Bolyai University of Cluj-Napoca, Rumania.
32. Technical Research Centre of Finland, Geotechnical Laboratory, Espoo, Finland.
33. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
34. Norwegian Road Research Laboratory, Oslo, Norway.

TABLEAU I
Applications possibles des géotextiles comme filtres dans les barrages en remblai.

Emplacement du filtre	But du filtre	Type de débit ou de chargement	Importance de la rupture	Facilité d'accès pour réparation
a. Protection du talus aval	Protection contre l'érosion par les précipitations	Ecoulement occasionnel de surface	Non-critique	Facile
b. Drains de surface aval	Suppression de l'écoulement de surface	Infiltration locale continue	Non-critique. Des surfaces locales humides peuvent réapparaître	Facile
c. Protection du talus amont	Contrôle de l'érosion par l'action des vagues et par l'écoulement vers l'extérieur lors de l'abaissement du plan d'eau	Ecoulement cyclique pendant l'action des vagues. Ecoulement léger lors de l'abaissement du plan d'eau	Habituellement non-catastrophique	Possible
d. Drainage interne temporaire	Dissipation de l'excédent de la pression interstitielle pendant la construction des remblais humides	Ecoulement temporaire, quantité limitée. Une certaine migration de fines est permise si les drains ne sont pas bloqués	Non-catastrophique. Une rupture peut amener l'instabilité pendant la construction ou des retards	Aucune
e. Limite du remblai interne amont, i.e. limite amont du noyau ou contact de fondation	Prévention de la migration inacceptable des fines en direction amont	Ecoulements légers et transitoires lors de l'abaissement du plan d'eau	Non-catastrophique importante seulement si la migration est grande et continue	Aucune
f. Interface aval interne - Pas d'écoulement continu du réservoir, i.e. sous l'épaulement	Prévention de la migration inacceptable des fines	Ecoulement causé uniquement par l'infiltration de la précipitation	Limitée et non-catastrophique	Peut être possible d'excaver en abaissant le réservoir pour la sécurité
g. Interface aval interne - Ecoulement continu à partir du réservoir, i.e. limite aval du noyau ou interface de la fondation près du noyau	Prévention de l'érosion interne, incluant les effets de l'écoulement concentré dans les fissures, etc.	Ecoulement continu à partir du réservoir, potentiellement important et croissant	Potentiellement catastrophique et rapide. Une infiltration générale sortant de la pente aval peut impliquer une lente détérioration seulement	Généralement aucune. La berme aval servant de contre-poids et de filtre inversé aval peut être enlevée et réparée en abaissant le réservoir pour la sécurité

TABLE 1
Possible applications of geotextiles as filters in fill dams.

Filter location*	Purpose of filter	Type of flow or loading	Significance of failure	Access for repair
a. Downstream slope protection.	Control of erosion by rainfall.	Occasional surface flow.	Non-critical.	Easy
b. Downstream surface drains.	Removal of surface seepage.	Continuous local seepage.	Non-critical. Local wet areas may reappear.	Easy
c. Upstream slope protection.	Control of erosion by wave action and by outward flow during drawdown.	Cyclic flow during wave action. Small flow during drawdown.	Usually non-catastrophic.	Possible.
d. Temporary internal drainage.	Dissipation of excess pore pressure during construction of wet fills.	Temporary flow, limited quantity. Some migration of fines allowable if drains not blocked.	Non-catastrophic. Failure may lead to instability during construction or delays.	None.
e. Upstream internal fill boundary e.g. upstream core boundary or foundation contact.	Prevention of unacceptable migration of fines in upstream direction.	Transient and small flows during drawdown.	Non-catastrophic. Only significant if migration is large and continuous.	None.
f. Downstream internal interface - no continuous flow from reservoir e.g. beneath weight block.	Prevention of unacceptable migration of fines.	Flow only due to infiltration of rainfall.	Limited and non-catastrophic.	May be possible to excavate with reservoir drawn down for safety.
g. Downstream internal interface - continuous flow from reservoir, e.g. downstream core boundary or foundation interface near core.	Prevention of internal erosion, including effects of concentrated flow in cracks, etc.	Continuous flow from reservoir, potentially large and increasing.	Potentially catastrophic and rapid. General seepage from downstream slope may involve only slow deterioration.	Generally none. Downstream weight block/inverted filter may be removed and repaired with reservoir drawn down for safety.

TABLEAU 2

Critères des filtres pour géotextiles provenant de différentes sources.

<u>LEGENDE</u>	O_e	=	Dimension d'ouverture réelle du géotextile
	d_{00}	=	Dimension des particules du sol de fondation
	U	=	Coefficient d'uniformité = d_{60}/d_{10}
	C'_u	=	Coefficient d'uniformité linéaire*
	O_{00}	=	Voir Chapitre 6 sur la détermination de la dimension des ouvertures de géotextiles
	O_{max}	=	Dimension d'ouverture maximum

*Le coefficient d'uniformité linéaire est déterminé à partir de la pente d'une ligne droite tracée aussi près que possible de la partie central de la courbe granulométrique (échelle logarithmique). Si, pour cette ligne, on détermine d^l_{100} et d^l_0 , alors

$$C'_u = \sqrt{\frac{d^l_{100}}{d^l_0}}$$

Calhoun (1972)

Géotextiles tissés seulement. Ecoulement à sens unique.

Sols granulaires avec $d_{50} >$ tamis n° 200 US (0,074 mm)

% surface libre < 40

$$O_e < d_{85}$$

Sols silteux avec $d_{50} <$ tamis n° 200 US (0,074 mm)

% surface libre < 10

$$O_e < 0,210 \text{ mm (tamis n° 70 US)}$$

Ragutzki (1973)

Sables avec $0,09 < d_{50} < 0,34$ mm

Ecoulement à sens unique. Géotextiles tissés seulement.

$$O_{max} < 2,7 \times d_{50}$$

Note: Pour une granulométrie en ligne droite.

$$d_{85} < O_{max} \quad \text{si } U < 4,1$$

Ecoulement alternatif

Filtre chargé de façon à ce qu'aucun mouvement de particules ne se produise.

Tissés: $O_{max} \leq 1,3 \times d_{50}$

Non-tissés: $O_{max} \leq 1,5 \times d_{50}$

Sans chargement du filtre de sorte que les grains se déplacent librement.

Tissés et non-tissés: $O_{max} \leq 0,7 \times d_{50}$

Ogink (1975)

Sables

Écoulement à sens unique

Tissés: $0_{90} < d_{90}$
Non-tissés: $0_{90} < 1,8 d_{90}$

Écoulement alternatif

Tous les géotextiles

Si l'auto-filtration peut se produire
 $0_{98} = d_{85}$

Si l'auto-filtration ne peut se produire
 $0_{98} = d_{15}$

Zitscher (1975)

Géotextiles tissés seulement pour les sables, $U < 2$, $0,1 < d_{50} < 0,3$

Écoulement à sens unique: $O_e < 2,7 d_{50}$
Écoulement alternatif: $O_e < 1,0 d_{50}$

Note: Pour un écoulement à sens unique, ce critère est le même que celui proposé par Ragutzki (1973)

McKeande (1977), ICI Fibres (1978)

Géotextiles non-tissés avec écoulement à sens unique seulement.

Sables et graviers ($d_{85} > 0,25$ mm, $d_{15} > 0,02$ mm)

Sélection normalement basée sur la perméabilité requise plutôt que sur la rétention des particules.

Sols d'ordre moyen ($0,02$ mm $< d_{85} < 0,25$ mm)
 $0_{50} < d_{85}$

Sols fins (typiquement cohésifs) ($d_{85} < 0,02$ mm)
 $0_{50} = 0,02$ mm

0_{50} déterminé par des essais de tamisage avec ballotini interprétés de façon semblable à Ogink (1975)

Schober et Teindl (1979)

Sables avec $0,01$ mm $< d_{50} < 0,3$ mm, $1,5 < U < 5$

Écoulement à sens unique

Tissés et non-tissés fins

U base	1	2	3	4	5
$0_{90}/d_{50} <$	2,4	3,8	4,4	4,3	4,2

Non-tissés épais

U base	1	2	3	4	5
$0_{90}/d_{50} \leq$	4,5	6,6	7,4	7,4	7,4

Note: Pour des granulométries en ligne droite, le critère ci-dessus signifie $0_{90} > d_{85}$

Ecoulement alternatif

Dépend de la sévérité des conditions d'écoulement et de l'acceptabilité de la perte de sol,

$$0_{90} = d_{85} \text{ à } 0_{90} = d_{15}$$

Schober et Teindl recommandent qu'un facteur de sécurité de 1,5 soit appliqué aux relations ci-dessus pour à la fois l'écoulement à sens unique et l'écoulement alternatif.

Heerten (1981, 1982)

Sols non-cohésifs

Ecoulement à sens unique	$U \geq 5$	et	$0_{90} < 10 d_{50}$
	$U < 5$		$0_{90} < d_{90}$
		et	$0_{90} < 2,5 d_{50}$
		et	$0_{90} < d_{90}$

Note: Pour une granulométrie en ligne droite $0_{90} < d_{90}$ prime pour $U < 27$.

Ecoulement alternatif*	$0_{90} < d_{50}$
------------------------	-------------------

Sols cohésifs

Toutes les conditions d'écoulement		$0_{90} < 10 d_{50}$
	et	$0_{90} < d_{90}$
	et	$0_{90} < 0,1 \text{ mm}$

* Heerten définit l'écoulement alternatif comme étant turbulent, semblable à celui causé par l'attaque des vagues ou le pompage. Des renversements d'écoulement léger avec écoulement laminaire sont considérés comme étant équivalents à un écoulement à sens unique.

Cistin (1977 et 1980)

$$0_{\max} < \frac{a_1}{b \cdot m} \times Z_{d_{kl}}$$

Cette équation est valable pour $0,04 \text{ mm} < d_0 < 3 \text{ mm}$.

- a_1 = 1,8 géotextiles non-tissés; épaisseur $l > 1,5 \text{ mm}$
- = 1,5 géotextiles non-tissés; épaisseur $l < 1,5 \text{ mm}$
- b = coefficient du changement de la dimension des pores des géotextiles dû aux travaux de construction et aux conditions de chargement.

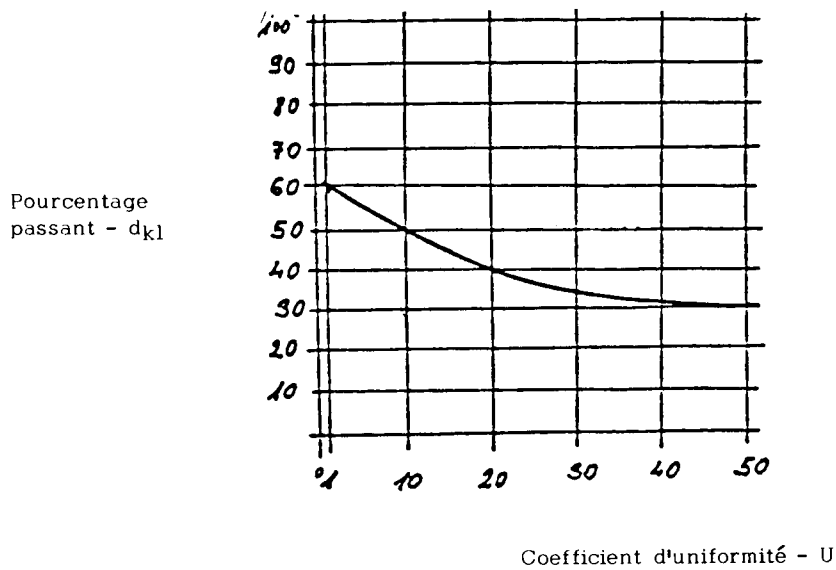
L'ordre de grandeur est habituellement de 1 - 2. Les valeurs plus grandes ($b > 1,5$) devraient être prises en compte seulement pour les géotextiles étendus sur la surface d'un remblai en gravier grossier. Des essais en laboratoire ou au chantier pour la détermination de b sont préférables.

m = coefficient du chargement hydraulique des géotextiles.

Ecoulement alternatif: $m = 1$ pour un débit à sens unique
 $m = 1.5$ pour un débit alternatif

$Z_{d_{kl}}$ = diamètre du grain qui cause la formation de voûtes.
 Celui-ci est obtenu de la façon suivante:

1. déterminer le coefficient d'uniformité, U , à partir de la courbe granulométrique du sol.
2. déterminer le pourcentage passant d_{kl} à partir de la relation avec U , donnée ci-dessous.
3. déterminer le diamètre du grain, $Z_{d_{kl}}$ correspondant à d_{kl} à partir de la courbe granulométrique du sol.



Groupe de travail du Comité français des grands barrages (1982)
 (également Loudière et al, 1983)

Tous les géotextiles. Ecoulement à sens unique.

Sols non-cohésifs - Granulométrie
bien progressive

$U > 4, 0,95 < d_{85}$
 $U < 4, 0,95 < 0,8 \times d_{50}$

Sols cohésifs - Sols uniformes

Appliquer les règles ci-dessus
mais avec un 0_{95} minimum de
0,05 mm

Note: Pour $U = 4$ le critère pour des sols uniformes est considérablement plus prudent que pour des sols à granulométrie très variée.

Giroud (1982)

Sol non-cohésif (granulométrie continue) - géotextile rugueux aiguilleté

Ecoulement à sens unique

		Uniformité	
Densité du sol		$1 < C'_u < 3$	$C'_u > 3$
Meuble	$l_d < 35\%$	$0_{95} < C'_u d_{50}$	$0_{95} < 9d_{50}/C'_u$
Moyen	$35\% < l_d < 65\%$	$0_{95} < 1,5 C'_u d_{50}$	$0_{95} < 13,5 d_{50}/C'_u$
Dense	$l_d > 65\%$	$0_{95} < 2 C'_u d_{50}$	$0_{95} < 18 d_{50}/C'_u$

Pour les géotextiles "lisses" (tissés, et non-tissés liés par la chaleur), employer les relations pour sol meuble.

C'_u est défini à partir de la partie droite centrale de la courbe granulométrique.

TABLE 2

Filter criteria for geotextiles from various sources.

<u>KEY</u>	O_e = Effective opening size of geotextile d_{00} = particle size of base soil U = uniformity coefficient = d_{60}/d_{10} C'_u = linear uniformity coefficient* O_{00} = opening size (see Section 6, Measuring the opening sizes of geotextiles) O_{max} = maximum opening size
------------	---

*Linear uniformity coefficient is derived from the slope of a straight line drawn as close as possible to the central portion of the particle size (log scale) distribution curve. If, for this line, d'_{100} et d'_{10} , are determined then

$$C'_u = \sqrt{\frac{d'_{100}}{d'_{10}}}$$

Calhoun (1972)

Woven geotextiles only. One way flow.

Granular soil with $d_{50} >$ No 200 US sieve (0.074 mm)

% open area $<$ 40
 $O_e < d_{85}$

Silty soils with $d_{50} <$ No 200 US sieve (0.074 mm)

% open area $<$ 10
 $O_e <$ 0.210 mm (No 70 UK sieve)

Ragutzki (1973)

Sands with $0,09 < d_{50} <$ 0,34 mm

One-way flow Woven geotextiles only.

$O_{max} <$ $2.7 \times d_{50}$

Note: For a straight line grading

$$d_{85} < O_{max} \quad \text{if } U < 4.1$$

Alternating flow

Filter loaded so that no particle movement occurs.

Wovens: $O_{max} <$ $1.3 \times d_{50}$

Non-wovens: $O_{max} <$ $1.5 \times d_{50}$

Without filter loading so that grains move freely.

Wovens and non-wovens: $O_{max} <$ $0,7 \times d_{50}$

Ogink (1975)

Sands

One-way flow

Wovens: $O_{90} < d_{90}$
Non-wovens: $O_{90} < 1.8 d_{90}$

Alternating flow:

All geotextiles

If self-filtering can occur
 $O_{98} = d_{85}$

If self-filtering cannot occur
 $O_{98} = d_{15}$

Zitscher (1975)

Woven geotextiles only for sands, $U < 2$, $0.1 < d_{50} < 0.3$

One-way flow: $O_e < 2.7 d_{50}$
Alternating flow: $O_e < 1.0 d_{50}$

Note: For one way flow this criterion is the same as proposed by Ragutski (1973)

McKeande (1977), ICI Fibres (1978)

Non-woven geotextiles with one-way flow only.

Sands and gravels ($d_{85} > 0.25$ mm, $d_{15} > 0.02$ mm)

Selection normally based on required permeability rather than particle retention.

Middle range soils (0.02 mm $< d_{85} < 0.25$ mm)
 $O_{50} < d_{85}$

Fine soils (typically cohesive) ($d_{85} < 0.02$ mm)
 $O_{50} = 0.02$ mm

O_{50} determined by sieving tests with ballotini interpreted in a manner similar to Ogink (1975).

Schober et Teindl (1979)

Sands with 0.01 mm $< d_{50} < 0.3$ mm, $1.5 < U < 5$

One-way flow

Wovens and thin-non-wovens

U base	1	2	3	4	5
$O_{90}/d_{50} <$	2.4	3.8	4.4	4.3	4.2

Thick non-woven

U base	1	2	3	4	5
$0_{90}/d_{50} <$	4.5	6.6	7.4	7.4	7.4

Note: For straight line gradings the above criteria imply $0_{90} > d_{85}$

Alternating flow

Dependent on severity of flow conditions and acceptability of soil loss,

$$0_{90} = d_{85} \text{ à } 0_{90} = d_{15}$$

Schober and Teindl recommend that a factor of safety of 1.5 be applied to the above relationship for both one-way and alternating flow.

Heerten (1981, 1982)

Non-cohesive soils

One-way flow	$U > 5$	and	$0_{90} < 10 d_{50}$
	$U < 5$	and	$0_{90} < d_{90}$
			$0_{90} < 2.5 d_{50}$
			$0_{90} < d_{90}$

Note: For a straight line grading $0_{90} < d_{90}$ governs for $U < 27$.

Alternating flow* $0_{90} < d_{50}$

Sols cohésifs

All flow conditions		$0_{90} < 10 d_{50}$
		and $0_{90} < d_{90}$
		and $0_{90} < 0.1 \text{ mm}$

* Heerten defines alternating flow as turbulent, such as may be due to wave attack or pumping. Gentle flow reversals with laminar flow are considered equivalent to one-way flow.

Cistin (1977 et 1980)

$$0_{\max} < \frac{a_1}{b \cdot m} \times Z_{d_{kl}}$$

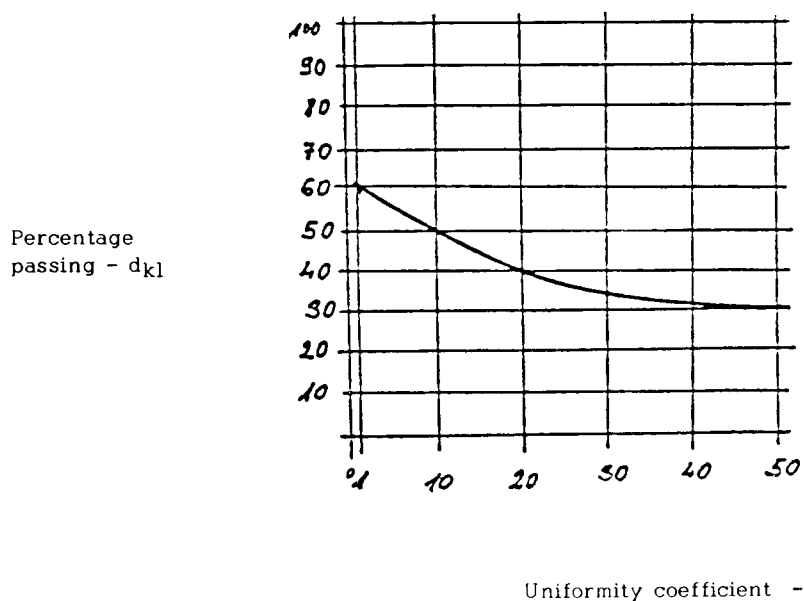
This Equation is valid for $0.04 \text{ mm} < d_0 < 3 \text{ mm}$.

- a_1 = 1,8 unwoven geotextiles; thickness $l > 1.5 \text{ mm}$
 = 1,5 unwoven geotextiles; thickness $l < 1.5 \text{ mm}$
- b = coefficient of the pore size change of geotextiles due to construction works and loading conditions.
 The usual range is 1 - 2. The larger values ($b > 1.5$) should be taken into account only for geotextiles laid over the surface of coarse gravel fill. Laboratory or field tests for the determination of b are preferable.
- m = coefficient of hydraulic loading of geotextiles

Alternating flow: $m = 1$ for one-way flow
 $m = 1.5$ for alternating flow

$Z_{d_{kl}}$ = grain diameter which causes the arching. d'arches.
This is derived as follows:

1. determine coefficient of uniformity, U from soil grading curve.
2. determine percentage passing d_{kl} from relationship with U , given below.
3. determine grain diameter $Z_{d_{kl}}$ corresponding to d_{kl} from soil grading curve.



Percentage passing - d_{kl}

Uniformity coefficient - U

Groupe de travail du Comité français des grands barrages (1982)
(Also Loudière et al, 1983)

All geotextiles. One-way flow.

Non-cohesives soils - Well graded

$U > 4, 0_{95} < d_{85}$
 $U < 4, 0_{95} < 0.8 \times d_{50}$

Cohesive soils - Uniform soils

Apply above rules but with a minimum 0_{95} of 0.05 mm

Note: For $U = 4$ the criteria for uniform soils is considerably more conservative than that for well-graded soils.

Giroud (1982)

Non-cohesive soil (non-gap graded) - 'rough' needle punched geotextile

One-way flow

Soil density		Uniformity	
		$1 < C'_u < 3$	$C'_u > 3$
Loose	$l_d < 35\%$	$0_{95} < C'_u d_{50}$	$0_{95} < 9d_{50}/C'_u$
Medium	$35\% < l_d < 65\%$	$0_{95} < 1.5 C'_u d_{50}$	$0_{95} < 13.5 d_{50}/C'_u$
Dense	$l_d > 65\%$	$0_{95} < 2 C'_u d_{50}$	$0_{95} < 18 d_{50}/C'_u$

For 'smooth' geotextiles (woven and heat bonded non-woven) use relationships for loose soil.

Imprimerie de Montligeon
61400 La Chapelle Montligeon
Dépôt légal : avril 1986
N° 12821
ISSN 0534-8293
Couverture : TILT

Copyright © ICOLD - CIGB

Archives informatisées en ligne



Computerized Archives on line

*The General Secretary / Le Secrétaire Général :
André Bergeret - 2004*



**International Commission on Large Dams
Commission Internationale des Grands Barrages
151 Bd Haussmann -PARIS -75008**
<http://www.icold-cigb.net> ; <http://www.icold-cigb.org>