



Recommandations pour l'emploi des Géosynthétiques dans les systèmes de Drainage et de Filtration

Recommandations pour l'emploi des Géosynthétiques dans les systèmes de Drainage et de Filtration

SOMMAIRE

1- OBJET DU FASCICULE	5
2- INTRODUCTION.....	8
3- DÉFINITION FONCTION FILTRATION DU GÉOTEXTILE	12
3-1- Stabiliser (éviter le mouvement) les grosses particules de sol (squelette granulaire) par un contact étroit avec le système de filtration	13
3-1-1- Sols compactés ou consolidés	13
3-1-2- Sols en suspension	14
3-2- Rester perméable sur la durée prévue lors du dimensionnement	15
4- PARAMÈTRES DU SOL À PRENDRE EN COMPTE POUR LA FILTRATION	16
4-1- Granularité du sol à filtrer	16
4-2- Équivalent de sable	17
4-3- Cohésion	17
4-4- Dispersivité	18
4-5- Densité	18
4-6- Perméabilité	19
4-7- Gradient hydraulique de l'écoulement dans le sol	19
5- CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES DU GÉOSYNTHÉTIQUE POUR LA FILTRATION	20
5-1- Critère de pénétration de l'eau	20
5-2- Critère de perméabilité	20
5-3- Critère de non rétention des fines	22
5-4- Critère de rétention du squelette	22
5-5- Exemples de dimensionnement fonctionnel du géotextile de filtration	24
5-5-1- Géotextile de filtration en tranchée drainante	24
5-5-2- Géotextile de filtration sous enrochement en protection contre l'érosion de berge	25
6- DÉFINITION : FONCTION DRAINAGE DU GÉOSYNTHÉTIQUE	29
7- CONTEXTE HYDRO-GÉOTECHNIQUE À PRENDRE EN COMPTE POUR LA FONCTION DRAINAGE	30
8- CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES DU GÉOSYNTHÉTIQUE POUR LE DRAINAGE	31
8-1- Capacité de débit dans le plan	31
8-2- Dimensionnement complémentaire lié aux conditions	33
9- EXEMPLES DE DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE (DRAINAGE).....	36
9-1- Drainage d'un débit vertical, écoulement gravitaire	36
9-2- Drainage d'un débit vertical, écoulement en charge avec un exutoire d'un seul côté	37
9-3- Equivalence hydraulique entre un géosynthétique et une couche granulaire	39
10- ASPECTS DE DURABILITÉ	41
11- MISE EN ŒUVRE DES GÉOSYNTHÉTIQUES.....	42
11-1- Cas des tranchées drainantes, épis ou éperons drainants	43
11-2- Cas du drainage talus et versant, masque drainant	46
ANNEXE 1 – FORMULES EMPIRIQUES POUR LE CALCUL DE LA PERMÉABILITÉ DES SOLS	48
ANNEXE 2	49
A-2-1- Drainage d'un débit vertical	49
A-2-2- Equivalence hydraulique entre un géosynthétique et une couche granulaire	51
RÉFÉRENCES	53

1

Objet du fascicule

Ce fascicule a pour objet de guider le concepteur dans l'emploi des géosynthétiques utilisés pour les fonctions de filtration et de drainage des sols dans les ouvrages suivants :

- ouvrages hydrauliques, digues, barrages...
- bassins étanches, réserves d'eau, canaux...
- ouvrages de terrassement : remblais, déblais, versants naturels...
- voies de circulation : chaussées, voies ferrées, pistes d'aérodrome...
- ouvrages d'art : ponts, soutènements, tunnels...
- fondations de bâtiments...
- aires de stockage, parcs de stationnement...
- aires de loisirs, espaces verts, terrains de sports...
- couverture d'installations de stockage de déchets (ISD) ...

Les figures 1 à 16 montrent des exemples d'ouvrages où les géosynthétiques sont utilisés comme filtre et/ou drain.



Figure 1 : Filtre géotextile en tranchée drainante



Figure 2 : Filtre géotextile en tranchée drainante



Figure 3 : Filtre géotextile en protection de berge



Figure 4 : Géosynthétique de drainage sous couche de forme



Figure 5 : Géosynthétique de drainage sous remblai



Figure 6 : Géosynthétique de drainage sous remblai



Figure 7 : Géosynthétique de drainage contre un mur d'ouvrage d'art



Figure 8 : Géosynthétique de drainage contre un mur d'ouvrage d'art



Figure 9 : Géosynthétique de drainage autour d'un tunnel



Figure 10 : Géosynthétique de drainage en couverture d'Installation de Stockage de Déchets



Figure 11 : Géosynthétique de drainage en couverture d'Installation de Stockage de Déchets



Figure 12 : Géosynthétique de drainage au-dessus de l'étanchéité en couverture d'Installation de Stockage de Déchets

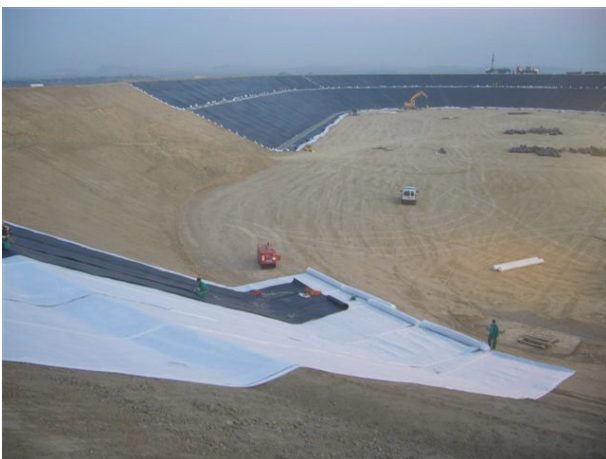


Figure 13 : Géosynthétique de drainage sous l'étanchéité d'un bassin



Figure 14 : Géosynthétique de drainage sous gazon synthétique (Terrain de sport)



Figure 15 : Géosynthétique de drainage sous terre végétale (Tramway)



Figure 16 : Géosynthétique de drainage sous terre végétale (Tramway)

Ne sont pas traitées dans ce fascicule :

- l'utilisation dans le drainage agricole ;
- l'utilisation pour la filtration et le drainage des lixiviats et des gaz ;
- les eaux de ruissellement, qui sont évacuées par des réseaux spécifiques de surface ;
- les eaux usées ;
- les situations où des phénomènes physico-chimiques peuvent intervenir.

Ce fascicule est une mise à jour du précédent fascicule édité en Avril 1986 par le Comité Français des Géotextiles et Géomembranes (actuellement Comité Français des Géosynthétiques).

En complément de ce fascicule, on peut se référer pour la réalisation des systèmes de drainage et de filtration aux autres fascicules traitant de la mise en œuvre, dans les remblais sur sol compressible, les voies de circulation provisoire et les chaussées à faible trafic, les terrains de sports, les voies ferrées, etc. :

- « Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés sous remblais sur sols compressibles » (NF G 38063, Afnor, 1993 en cours de révision) ;
- « Guide technique du drainage routier » (SETRA, 2006) ;
- « Ecrans drainants de rives de chaussées » (SETRA, 1992) ;
- « Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés » (NF G 38 060, AFNOR, 2013).

2 Introduction

Les géosynthétiques sont couramment utilisés depuis les années 1970 dans les systèmes de drainage et de filtration des bâtiments, des ouvrages de génie civil et de géotechnique.

Le rôle du drainage est de :

- rabattre les nappes ;
- contrôler les écoulements d'eau ;
- diminuer et maîtriser les pressions d'eau ;
- accélérer les phénomènes de consolidation.

L'efficacité et la pérennité des systèmes de drainage sont assurées par l'association des fonctions filtrante et drainante pour lesquelles un dimensionnement du géosynthétique est nécessaire.

La fonction filtration consiste à laisser circuler librement l'eau tout en retenant les éléments du sol dans le but d'éviter :

- la contamination de la partie drainante par les éléments fins du sol environnant ;
- l'augmentation importante de la pression interstitielle au voisinage du dispositif de drainage ;
- la déstabilisation du sol (formation de cavités ou renards).

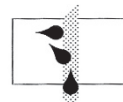
Les filtres peuvent également intervenir seuls, sans être associés à des dispositifs de drainage, dans les protections de berge et les parements de barrages, entre sol et enrochements ou gabions, etc.

La fonction drainage consiste à collecter et à évacuer l'eau vers un exutoire.

Il existe des pictogrammes définis par la norme NF EN ISO 10 318 (AFNOR, 2006) : « Géosynthétiques, Termes et Définitions » pour symboliser ces fonctions (Figure 7).



Fonction filtration



Fonction drainage

Figure 17 Pictogrammes symbolisant la fonction filtration et la fonction drainage

Pour assurer ces fonctions, il existe une très grande variété de structures géosynthétiques dont la terminologie est définie dans la norme NF EN ISO 10 318 (AFNOR, 2006) : « Géosynthétiques, Termes et Définitions ».

Par souci de simplification, on utilisera le terme « Géotextile » pour désigner les produits remplissant la seule fonction filtration et le terme « Géosynthétique » pour les produits remplissant les fonctions de drainage et de filtration. Dans ce deuxième cas il s'agira le plus souvent de géocomposites de drainage (association d'au moins un géotextile avec un produit apparenté). Pour des débits à drainer très faibles, il peut s'agir de produits mono-composants (filtre-drain homogène).

Notes

1. Maîtrise de la pression de l'eau

La pression de l'eau intervient de deux façons sur la stabilité des structures :

- Par l'action hydrostatique sur le contour ou au sein des ouvrages. Le drainage a alors pour but de supprimer cette pression. Dans certaines applications l'objectif est de diminuer cette pression pour assurer la stabilité de l'ouvrage.
- Par les forces hydrodynamiques (force de volume) qui s'exercent sur le sol, parallèlement à l'écoulement, et qui sont proportionnelles au gradient hydraulique « i » (perte de charge par unité de longueur) et au poids volumique de l'eau. Selon l'orientation de l'écoulement, ces forces hydrodynamiques peuvent agir favorablement ou défavorablement sur la stabilité d'un massif de sol. Le drainage aura pour effet d'orienter favorablement les écoulements.

2. Accélération de la consolidation

La consolidation est le processus de déformation des sols fins saturés au cours du temps entre l'instant où on leur applique une charge et la fin de la déformation. Ce processus est lié à la faible vitesse de déplacement de l'eau dans le sol. L'installation d'un dispositif de drainage adapté permet de raccourcir la durée des déformations. Cette durée varie comme le carré de la distance maximale entre un point du sol et le drainage le plus proche. Le drainage n'est utile que pendant la consolidation (NF EN 15237). Il peut être également conçu pour assurer une fonction drainage à plus long terme.

PARTIE A

FONCTION FILTRATION DU GÉOTEXTILE



3

Définition - Fonction filtration du géotextile

Les sols naturels sont des milieux poreux qui contiennent généralement de 30 à 40 % de vides, formés par les interstices entre les particules de sol. Lorsque le sol est saturé, l'eau qu'il contient remplit ces pores et se déplace sous l'effet des gradients de charge hydraulique (qui combine la pression de l'eau et son altitude).

Par le même processus qu'avec les écoulements de surface, l'eau peut déstabiliser les particules du sol, les détacher du massif et les transporter.

Pour éviter la mise en mouvement des particules situées à la surface du sol ou à l'interface avec un autre milieu, on place à la surface du sol un système de filtration (figure 18) dont le rôle est :

- de **maintenir les particules** pour qu'elles ne soient pas mises en mouvement par l'écoulement venant de l'intérieur du massif ;
- de laisser la **libre circulation de l'eau sur le long terme**.

Dans le cas de la fonction filtration, l'écoulement est perpendiculaire au plan du géosynthétique.

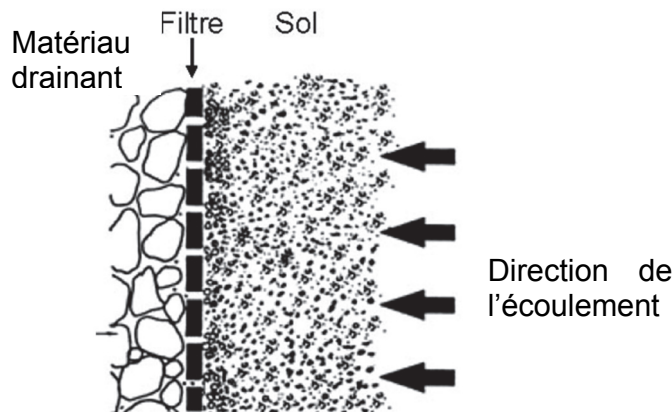


Figure 18 -Principe du fonctionnement d'un filtre géotextile

Note

Le fonctionnement d'un système de filtration dans un ouvrage hydraulique ou géotechnique est donc tout à fait différent du fonctionnement des filtres utilisés dans d'autres applications de type industriel (filtre à air, filtre à huile, etc.). Placés en travers du passage du fluide, ces derniers doivent arrêter toutes les particules qui sont transportées dans l'écoulement, le plus souvent en suspension. L'inconvénient majeur de ce rôle exclusif est l'accumulation inexorable des particules à la surface ou dans le filtre conduisant à son colmatage, c'est-à-dire qu'il devient de moins en moins perméable. Ces filtres pour applications industrielles doivent être remplacés régulièrement, ce qui n'est pas envisageable dans un ouvrage de géotechnique pour lequel le système de filtration est installé pour remplir sa fonction pendant toute la durée de vie de l'ouvrage.

Pour **éviter la réduction de perméabilité du filtre** due au risque d'accumulation de particules transportées par l'écoulement, le système de filtration d'un ouvrage hydraulique doit **empêcher le sol dans son ensemble de se mettre en mouvement**. Le **maintien** du sol par le système de filtration est donc crucial pour que les particules restent immobiles, stables et qu'elles ne soient pas entraînées par l'écoulement. Il y a cependant toujours des particules très fines qui se déplacent entraînées par l'eau : le système de filtration doit les laisser passer.

L'action d'un système de filtration dans un sol naturel doit donc satisfaire les trois exigences suivantes :

- stabiliser les grosses particules du sol ;
- laisser passer les fines particules instables ;
- rester perméable pendant la durée de vie de l'ouvrage.

3.1 STABILISER (EVITER LE MOUVEMENT) LES GROSSES PARTICULES DE SOL (SQUELETTE GRANULAIRE) PAR UN CONTACT ETROIT AVEC LE SYSTEME DE FILTRATION

3.1.1. Sols compactés ou consolidés

Dans le cas des ouvrages de génie civil exécutés selon les règles de l'art, les sols sont compactés par couches ou consolidés ; le mécanisme de filtration varie en fonction de la structure du sol :

Sols à granulométrie continue

Dans ce cas, le plus courant, le squelette du sol est constitué par les plus grosses particules en contact les unes avec les autres et forme une véritable ossature. Par la constitution de voûtes naturelles, elles vont à leur tour retenir les particules plus petites et ainsi la totalité du sol. Les passages à travers le géosynthétique (ouvertures) doivent être plus petits que les particules formant le squelette.

Le géotextile initie la formation **d'un auto-filtre granulaire stable** dans le sol (Figure 19). Ce filtre naturel ou auto-filtre ne se forme (sur une épaisseur d'ailleurs très faible) que si **le géosynthétique est appliqué sur le sol avec une contrainte suffisante**.



Figure 19 - Filtre naturel développé dans un sol à granulométrie continue

Sols à granulométrie uniforme

Pour les sols à granulométrie uniforme, non ou peu cohérents, aucun filtre naturel ne peut se développer dans le sol selon le processus décrit ci-dessus. Les ouvertures du géosynthétique doivent donc être plus petites que le diamètre des particules.

Note

De nombreux géosynthétiques satisfont cette condition pour les sables fins. Si cette condition n'est pas respectée pour des sols plus fins (sables très fins, des cendres, des silts, des limons non argileux, des loess) surtout s'ils sont peu denses, il peut se produire un lessivage important du sol.

Sols fins cohérents

Pour les sols fins cohérents, bien que la dimension de leurs éléments soit en général inférieure à celle des ouvertures du filtre, les fines sont liées entre elles par des forces de cohésion importantes et il se forme, au contact du filtre, des petites voûtes stables (Figure 20).

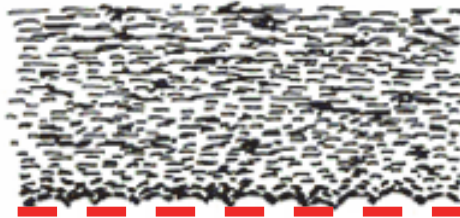


Figure 20 - Apparition de voûtes stables après le départ de quelques particules (sol fin cohérent).

3.1.2. Sols en suspension

Dans le cas où le sol se met en suspension dans l'eau : ceci peut se produire en présence de sols boueux, de sols peu denses, non compactés ni consolidés, de sols à granulométrie discontinue où les éléments fins ne sont pas bloqués et peuvent être lessivés, ou encore de sols en suspension (écoulements chargés) et de sols dispersifs (cf § 4).

On peut rencontrer ce type d'écoulement :

- dans la construction de remblais hydrauliques ;
- dans la construction de bassins d'infiltration ;
- dans le cas d'une barrière de filtration d'eau de ruissellement chargée ;
- dans la phase initiale de la mise en œuvre d'un géotextile sur sols boueux ;
- lors de la phase initiale de la consolidation d'un sol compressible.

Dans ce cas il n'y a pas de possibilité de stabiliser le sol : c'est un phénomène évolutif de migration de particules pour lequel la filtration par géotextile ne peut être envisagée que pour des applications à court terme.

- La fonction filtration sera assurée par le géotextile de manière différente suivant que celui-ci : possède une texture suffisamment fine pour arrêter les particules en suspension, qui se déposent alors à sa surface ou dans son épaisseur. La perméabilité de cette zone diminue, ceci n'est admissible que si cette réduction se produit suffisamment lentement par rapport à la durée de vie de l'ouvrage ou dans le cas où la circulation des particules en suspension est de durée limitée (consolidation d'un sol, phase transitoire qui suit la mise en œuvre d'un ouvrage de drainage) ;
- laisse passer les particules en suspension mais retient le squelette du sol, ce qui nécessite alors que la structure drainante aval soit dimensionnée en conséquence.

3.2 LAISSER PASSER LES FINES PARTICULES INSTABLES ET TRANSPORTEES EN SUSPENSION POUR EVITER LEUR BLOCAGE PAR LE SYSTEME DE FILTRATION

(Figure21)

3.3 RESTER PERMEABLE SUR LA DUREE PREVUE LORS DU DIMENSIONNEMENT EN S'ASSURANT :

- D'une perméabilité initiale suffisante par rapport au sol à filtrer pour ne pas créer de perte de charge dans l'écoulement ;
- Du maintien de cette perméabilité au-delà d'un seuil minimum sur la durée prévue lors du dimensionnement.

Ce dernier point sous-entend que les conditions suivantes soient respectées :

- squelette du sol stable et non-mobile ;
- passage des fines en suspension.

Le choix d'un filtre résulte donc d'une optimisation de ses caractéristiques vis-à-vis de ces trois exigences.

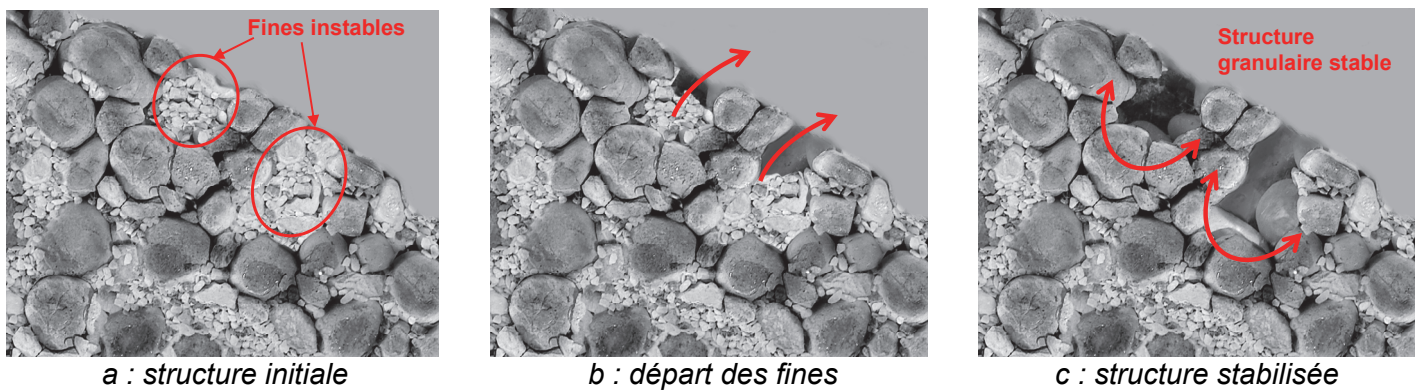


Figure 21 - Départ de fines particules instables

4

Paramètres du sol à prendre en compte pour la filtration

Pour que la fonction filtration soit assurée, il est nécessaire de prendre en compte certaines caractéristiques du sol avec lesquelles le filtre sera en contact.

4.1 GRANULARITE DU SOL A FILTRER

La courbe granulométrique du sol à filtrer est nécessaire pour déterminer le type de granulométrie : étalée ou uniforme, continue ou discontinue.

Un sol à granulométrie étalée est un sol dont le coefficient d'uniformité $C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ est supérieur ou égal à 6, et à granulométrie uniforme si C_U est inférieur 6 (Figure 22).

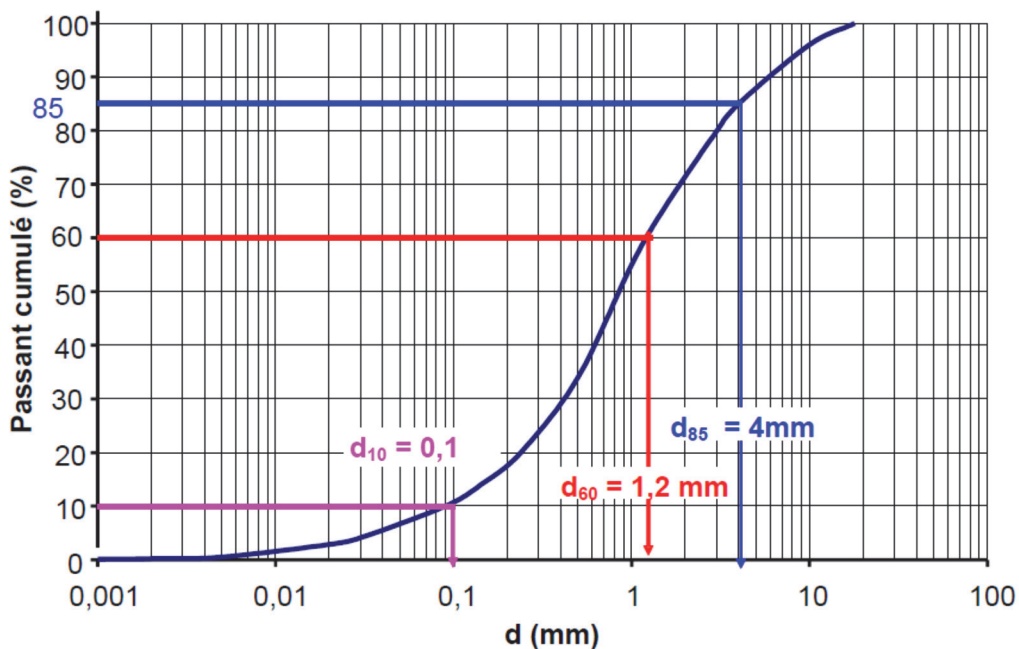


Figure 22 - Exemple de sol à granulométrie continue et étalée ($C_U = 12$)

Pour les sols à granulométrie continue, on déterminera les paramètres caractéristiques : d_{10} , d_{60} , d_{85} , le coefficient d'uniformité C_U et le cas échéant le d_{50} .

Les valeurs de d_y ($y = 10, 50, 60,$ ou 85) sont définies sur la courbe granulométrique du sol :

- d_y étant dimension des particules correspondant à un passant cumulé de $y\%$ de la masse des particules.

Pour les sols à granulométrie discontinue dont la courbe granulométrique présente un palier dans la zone des passants cumulés supérieur à 20 %, les paramètres caractéristiques ci-dessus sont déterminés à partir de la fraction granulométrique inférieure à ce palier (cf. Figure 23) :

Si $y(d)$ est le pourcentage cumulé de particules inférieures à « d » du sol discontinu, et si y_p est le pourcentage correspondant au palier, le calcul de la courbe granulométrique de la fraction inférieure est donné par $y'(d)$:

$$y'(d) = \frac{y(d)}{y_p} \times 100 \quad \text{avec } y(d) \leq y_p$$

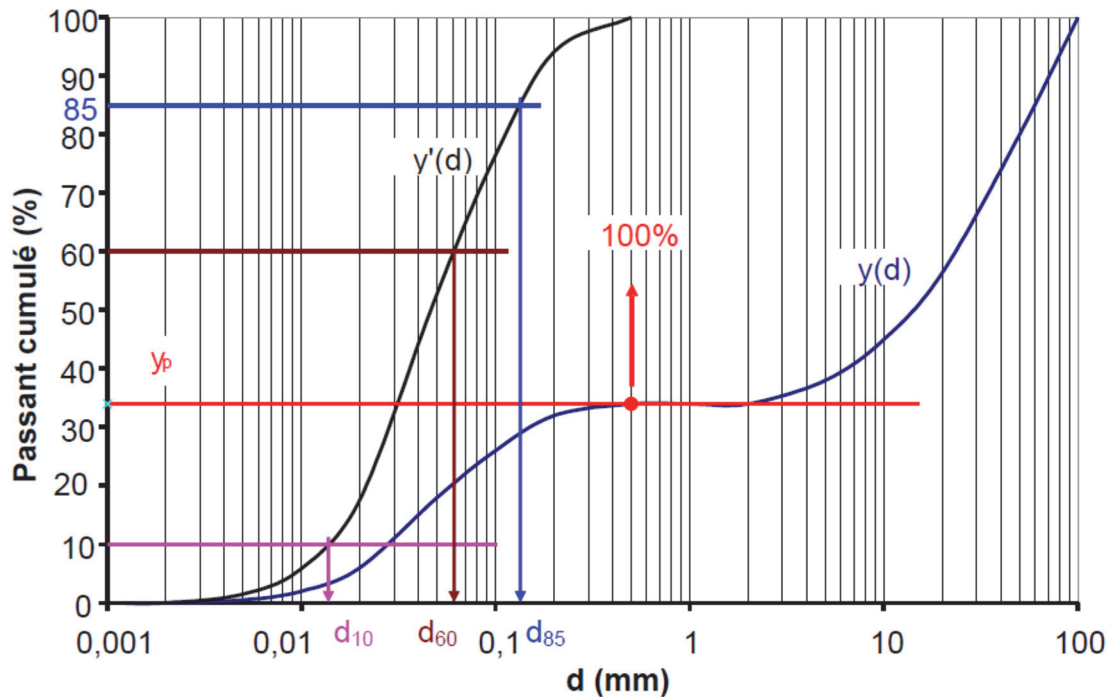


Figure 23 - Détermination du d_{85} dans le cas d'un sol à granulométrie discontinue

4.2 ÉQUIVALENT DE SABLE

L'équivalent de sable (ES) est déterminé suivant la norme NF EN 933-8 (AFNOR 2012).

4.3 COHESION

La cohésion des sols est associée à la présence de particules fines argileuses, qui sont aussi la cause de la plasticité des mêmes sols. La cohésion est pour cette raison caractérisée par des paramètres de plasticité, comme l'indice de plasticité IP, ou la valeur de bleu (de méthylène) VBS.

Un sol peu cohérent est caractérisé par un indice de plasticité faible ($I_p < 12$ ou un $VBS < 2,5$).

Un sol cohérent est caractérisé par un indice de plasticité $I_p \geq 12$ ou un $VBS > 2,5$. Un indice de plasticité élevé ($I_p > 40$) met en évidence la présence d'éléments gonflants.

4.4 DISPERSIVITE

La dispersivité d'un sol argileux traduit sa sensibilité à l'érosion interne. Elle est définie actuellement par des tests très empiriques, comme le test du trou d'épingle. La dispersivité est fonction de la granulométrie, de la cohésion, mais aussi de la nature minéralogique des argiles, nature qui peut d'ailleurs varier en cours de fonctionnement de l'ouvrage. En particulier les argiles sodiques sont beaucoup plus dispersives que les argiles calciques. En présence de sols dispersifs, qui se caractérisent par l'émission d'une grande quantité d'éléments fins, le choix du filtre doit, dans l'état actuel de nos connaissances, être déterminé à partir d'essais de comportement.

Note

Test du trou d'épingle (Ministère de l'Agriculture des États-Unis d'Amérique). L'essai consiste à faire passer de l'eau distillée à travers un petit trou de 1 mm de diamètre percé dans un échantillon de sol de 25,4 mm de long sous une différence de charge hydraulique de 50 mm. Le résultat d'essai est évalué à partir de l'aspect de l'eau (colorée ou non, chargée de particules ou non), de la vitesse d'écoulement et du diamètre final du trou.

Il existe également d'autres essais pour apprécier la dispersivité du sol comme la double sédimentométrie et un test visuel dans l'eau appelé « crumb-test »

4.5 DENSITE

La stabilité d'un sol, même dispersif, est très liée à sa densité sèche. Un sol, compacté à une masse volumique apparente sèche voisine de celle obtenue à l'essai Proctor Normal, est peu sensible à l'érosion interne. En dessous de 95 % de la densité sèche à l'Optimum Proctor Normal, le sol devient plus sensible et les risques de colmatage sont plus grands.

Note

La densité est le rapport de la masse volumique du matériau à la masse volumique de l'eau.

Pour les sables et graviers propres, on utilise l'indice de densité I_D , qui traduit la position de l'indice des vides du sol dans l'intervalle des indices des vides possibles et est défini comme :

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

où e , e_{\min} et e_{\max} sont respectivement les indices des vides du sol dans ses états actuel, le plus dense et le plus lâche. L'indice de densité s'exprime comme nombre décimal ou pourcentage.

On considère qu'un sol est dense pour $I_D > 65\%$ et qu'il est lâche pour $I_D < 35\%$.

Note

L'indice des vides e est lié à la masse volumique ρ (ou à la densité G ou au poids volumique γ) du sol par la relation :

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1$$

où ρ_s et ρ_d sont respectivement la masse volumique des particules et la masse volumique du sol sec.

Si l'on remplace les indices des vides e , e_{\min} et e_{\max} par leurs expressions $(\rho_s/\rho_d - 1)$, $(\rho_{s\max}/\rho_{d\max} - 1)$ et $(\rho_{s\min}/\rho_{d\min} - 1)$, en notant que e_{\min} correspond à $\rho_{d\max}$ et e_{\max} à $\rho_{d\min}$, on obtient une autre expression de l'indice de densité :

$$I_D = \frac{\rho_{d\max}}{\rho_d} \frac{\rho_d - \rho_{d\min}}{\rho_{d\max} - \rho_{d\min}}$$

4.6 PERMEABILITE

La perméabilité du sol est caractérisée par le coefficient de perméabilité k_s obtenu par un essai réalisé selon la norme NF X 30 442 (AFNOR, 2011). Ce coefficient permet de déterminer la vitesse de l'écoulement de l'eau dans le sol à l'aide de la loi de Darcy.

En l'absence d'essai de perméabilité, il est possible de se référer à des approches empiriques proposées par certains auteurs (cf. Annexe 1).

4.7 GRADIENT HYDRAULIQUE DE L'ÉCOULEMENT DANS LE SOL i_s

Gradient hydraulique, noté i_s , : « Différence de charge hydraulique entre deux points d'un milieu poreux saturé par unité de distance, le long d'une ligne de courant. Elle a la signification d'une différence de potentiel (exprimée en hauteur de colonne d'eau) par unité de longueur. Sans dimension ».

Note

La charge hydraulique, qui est la fonction de potentiel d'écoulement de l'eau dans le sol, est définie par l'expression $h = u/\gamma_w + z$, dans laquelle u est la pression de l'eau, γ_w le poids volumique de l'eau et z l'altitude par rapport à un niveau de référence.

- cas des écoulements gravitaires (tranchées drainante, masques drainants, drainage derrière un mur de soutènement, ...) : $i_s \leq 1$.
- cas des écoulements en charge (base drainante sous remblai, drainage sous dallage, ..) le gradient i_s peut être supérieur à 1. Son évaluation fera l'objet d'un calcul en fonction du contexte hydro-géotechnique.
- cas de écoulements alternés (protection de berges ou côtes, talus amont de barrage, etc.) : Les effets dynamiques dus aux vagues créent des surpressions interstitielles qui augmentent localement ; le gradient peut être sensiblement supérieur à 1. Une valeur minimale de i_s égale à 5 est conseillée.

5

Caractéristiques fonctionnelles du géosynthétique pour la filtration

Dans tous les cas d'application, les filtres géosynthétiques doivent respecter les conditions suivantes :

a) rester perméable à l'eau :

- l'eau doit pouvoir pénétrer dans le filtre et le saturer s'il ne l'est pas initialement (critère sur la résistance à la pénétration de l'eau) ;
- l'eau doit pouvoir traverser facilement le filtre (critère de perméabilité) ;

b) laisser passer les particules fines instables tout en stabilisant le squelette du sol :

- un critère de non-rétention des fines ;
- un critère de rétention du squelette.

5.1. CRITERE DE PENETRATION DE L'EAU

Le choix des géosynthétiques filtres, utilisés dans les systèmes de drainage, repose sur l'application de la loi de Darcy qui suppose que le milieu est saturé. Les géosynthétiques utilisés dans ces applications doivent donc présenter une résistance à la pénétration de l'eau adaptée pour pouvoir se saturer en cours de fonctionnement sinon les performances risquent d'être très inférieures à celles prévues, le produit pouvant même se comporter comme une barrière capillaire.

La résistance à la pénétration de l'eau d'un géosynthétique ne dépend pas seulement de la nature du polymère utilisé mais aussi des dimensions de ses fibres, des adjuvants éventuels utilisés lors de sa fabrication. Elle est définie comme l'aptitude d'un géosynthétique à laisser passer l'eau sous une charge d'eau déterminée à partir de l'essai NF EN 13562.

Cet essai donne la pression d'eau, exprimée conventionnellement en millimètres d'eau, qui produit un écoulement continu de gouttelettes à travers l'éprouvette.

Pour la fonction filtration, cette pression doit être inférieure à 5 mm.

5.2. CRITERE DE PERMEABILITE

L'eau doit pouvoir traverser facilement le filtre : Il est généralement admis que la surpression interstitielle au passage du filtre ne doit pas excéder 0,5 kPa, soit une différence de charge hydraulique de 50 mm.

La norme NF EN ISO 11058 décrit une procédure d'essai qui permet de déterminer la vitesse d'écoulement transversal au géosynthétique sous une différence de charge hydraulique de 50 mm. Cette caractéristique, notée V_{H50} , est déterminée sur le produit neuf et non comprimé. Comme la condition de perméabilité doit être appliquée au filtre comprimé dans le terrain, on applique à V_{H50} deux coefficients correcteurs :

- un coefficient qui tient compte de la pollution du filtre par les particules du sol lors de son installation et en fonctionnement,
- un coefficient qui représente l'effet de la compression du géosynthétique sur sa perméabilité.

Les constats effectués sur des prélèvements de géosynthétiques dans des ouvrages en service ont conduit à donner, de manière sécuritaire, des valeurs de 100 et 3, respectivement, à ces deux coefficients correcteurs pour les ouvrages les plus critiques.

Au lieu d'utiliser le résultat V_{H50} de l'essai, on utilise donc une valeur corrigée, notée V^*_{H50} , et égale à :

- **pour les ouvrages de classe de conséquence élevée** (barrages en terre, par exemple)

$$V^*_{H50} = \frac{V_{H50}}{100 \cdot 3,33} = \frac{V_{H50}}{1000}$$

(le dernier coefficient au dénominateur 3,33 est un coefficient de sécurité supplémentaire) ;

- **pour les autres ouvrages** (tranchée drainante, drainage de talus et versants)

$$V^*_{H50} = \frac{V_{H50}}{100}$$

- **pour les ouvrages où le sol est un sable propre** (équivalent de sable supérieur à 60, pourcentage d'éléments fins (inférieurs à 80 μm) inférieur à 12%) et où l'on peut considérer la pollution du filtre comme négligeable :

$$V^*_{H50} = \frac{V_{H50}}{10}$$

La condition à remplir par le filtre en termes de perméabilité est que la vitesse v^* de l'écoulement de l'eau à travers le filtre géosynthétique soit inférieure à V^*_{H50} . Cette vitesse est égale à la vitesse v_s de l'écoulement de l'eau dans le sol et vaut donc :

$$v^* = v_s = k_s \cdot i_s$$

avec :

k_s = coefficient de perméabilité du sol en m s^{-1} ;

i_s = gradient hydraulique de l'écoulement dans le sol au voisinage du géosynthétique (sans dimension) ;

v^* = vitesse de l'écoulement dans le géosynthétique en place, comprimé et en contact avec le sol en m s^{-1} .

Suivant les cas, cette condition conduira à exiger des produits dont la caractéristique V_{H50} est égale à mille fois, cent fois ou dix fois la vitesse de l'eau dans le sol calculée lors de l'étude du projet.

Les valeurs de V_{H50} sont données au tableau 1

Types d'ouvrage	Critère de perméabilité
Pour les ouvrages de classe de conséquence élevée (barrages en terre, par exemple)	$V_{H50} > 10^3 k_s \cdot i_s$
Autres ouvrages (tranchée drainante, drainage talus et versants)	$V_{H50} > 10^2 k_s \cdot i_s$
Dans le cas de sables propres	$V_{H50} > 10 k_s \cdot i_s$

Tableau 1. Valeurs de V_{H50} selon les types d'ouvrage

Tous les produits n'ont pas la même sensibilité à la compression. Il existe une norme de perméabilité sous contrainte, NF EN ISO 10776 qui permet de mesurer un V_{H50} sur un géotextile sous une contrainte de compression σ : $V_{H50, \sigma}$. Ainsi, il est possible d'utiliser $V_{H50, \sigma}$ et de s'affranchir du coefficient 3 sur l'effet de la compressibilité.

Lorsqu'un ouvrage recoupe des zones de sol de perméabilité différente, on prend en compte la perméabilité du sol la plus élevée si le même géosynthétique est utilisé pour toutes les zones.

5.3. CRITERE DE NON RETENTION DES FINES

Pour les sols présentant la possibilité de mise en suspension d'éléments fins (graves polluées, sables peu argileux où l'argile ne constitue pas une matrice continue), le filtre géosynthétique doit laisser passer les éléments fins tout en retenant le squelette. Cette condition est traduite par un critère concernant l'ouverture de filtration O_{90} du filtre géosynthétique et la taille maximale des particules fines du sol, soit $63 \mu\text{m}$:

$$O_{90} \geq 63 \mu\text{m}$$

O_{90} : Ouverture de filtration caractéristique du géosynthétique : d_{90} des particules d'un sol défini traversant le géosynthétique dans les conditions d'essai définies par la norme NF EN ISO 12956 (AFNOR 2011). Elle correspond au diamètre de la plus grosse particule de sol pouvant traverser le géosynthétique sous l'action de la percolation de l'eau. Elle est exprimée en micromètre.

Note

$63\mu\text{m}$ est la valeur maximale de la taille des particules fines dans les normes européennes sur la classification des sols (NFP 11 300, AFNOR 1992).

5.4. CRITERE DE RETENTION DU SQUELETTE

Pour assurer la rétention du squelette du sol, on compare l'ouverture de filtration caractéristique O_{90} du géosynthétique à la dimension « d_c » représentative des particules constituant le squelette du sol.

- sol à granulométrie peu étalée ($C_U < 6$) : la dimension représentative est conventionnellement définie par le d_{85} du sol à filtrer.
- sol à granulométrie étalée ($C_U \geq 6$) : la dimension représentative est conventionnellement définie par le d_{50} du sol à filtrer.

Les valeurs de d_{85} et d_{50} sont définies sur la courbe granulométrique du sol (cf. §4, Figure22 et Figure23).

Cette valeur d_c est affectée d'un coefficient C pour tenir compte de certaines conditions particulières liées à la granulométrie du sol, à sa compacité, au type d'écoulement et au rôle du géosynthétique.

$$63 \mu\text{m} \leq O_{90} \leq C \cdot d_c$$

Le coefficient C est le produit de quatre facteurs C_1 , C_2 , C_3 et C_4 :

$$C = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4$$

- **C_1 tient compte de l'influence de la forme de la courbe granulométrique :**

Granulométrie continue et étalée $C_1 = 1,00$

Granulométrie uniforme $C_1 = 0,80$

- **C_2 tient compte de l'influence de la compacité du sol à filtrer (tableau 2):**

Sols lâches : $C_2 = 0,80$

Sols non confinés : $C_2 = 0,80$

Sols denses et confinés : $C_2 = 1,25$

Un sol est considéré comme confiné lorsque la contrainte normale appliquée est supérieure à 10 kPa.

Les sols lâches se rencontrent notamment dans tous les travaux en déblai, tels que les tranchées drainantes, les masques drainants, les travaux de protection de berges, etc.

Les sols denses concernent les travaux en remblai.

L'appréciation de la densité (sol lâche ou sol dense) peut être faite à l'aide du tableau 2.

Sol	Caractérisation	C ₂
Cohérent	$\rho_d > 0,95 \rho_{dOPN}$	1,25
	$\rho_d < 0,95 \rho_{dOPN}$	0,80
Non cohérent, sables et graviers propres	ID \geq 50	1,25
	ID < 50	0,80

ρ_d – masse volumique du sol sec

ρ_{dOPN} – masse volumique du sol sec à l'optimum Proctor normal

ID – indice de densité.

Tableau 2 : Choix de C₂ pour les sols lâches et denses

- **C3 tient compte de l'influence du gradient hydraulique is dans le sol à filtrer au voisinage du géotextile**

gradient hydraulique faible $i_s < 5$ C3 = 1,00

gradient hydraulique plus élevé $i_s \geq 5$ C3 = 0,80

écoulement alterné (protection de berge) C3 = 0,60

- **C4 tient compte du rôle du géosynthétique**

rôle de filtre seul C4 = 1,00

rôle de filtre-drain homogène C4 = 0,30

Pour les sols cohérents, si cette règle conduit à une valeur de O₉₀ inférieure à 80 μm , on retient :

$$63 \mu\text{m} \leq O_{90} \leq 80 \mu\text{m}.$$

Pour les sols non cohérents, si cette règle conduit à une valeur de O₉₀ inférieure à 63 μm , on sort du domaine d'application de cette règle. On peut avoir recours à un essai de comportement pour valider une solution technique.

Note

Lorsqu'un ouvrage recoupe des zones de sol de granulométrie différente, on prend en compte la granulométrie du sol la plus fine dans le cas où le même géosynthétique est utilisé sur toutes les zones.

En complément de l'ouverture de filtration, la structure des géotextiles a une influence sur la rétention ou la non-rétention des particules. Par exemple, le nombre de constrictions évalué suivant la norme XP G38-030 est un paramètre indicatif de la structure de certains géotextiles pour la fonction filtration (cf. domaine d'application de la norme).

5.5. EXEMPLES DE DIMENSIONNEMENT FONCTIONNEL DU GEOTEXTILE DE FILTRATION

5.5.1. Exemple 1 : Géotextile de filtration en tranchée drainante

Données de l'ouvrage

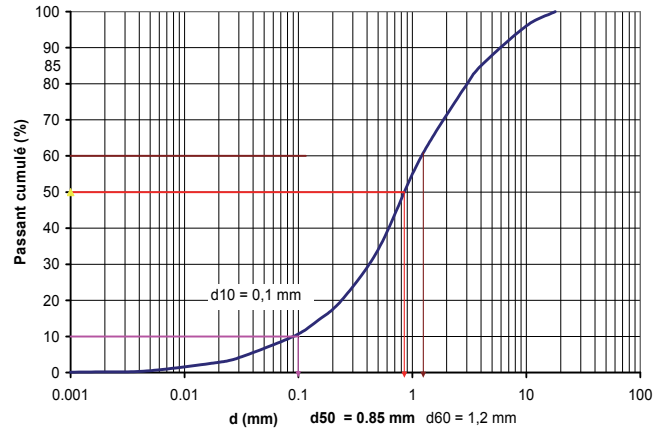
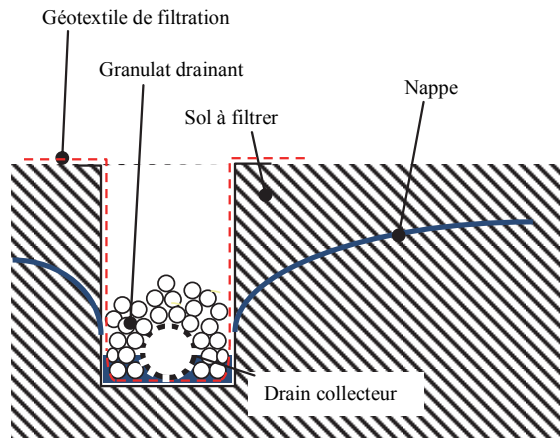


Figure 24- Exemple de géotextile de filtration en tranchée drainante et courbe granulométrique du sol à filtrer

Hypothèses de calcul

Granulométrie du sol à filtrer : granulométrie continue (voir courbe de la figure 24) .

Perméabilité du sol : $k_s = 10^{-5}$ m/s

Gradient hydraulique de l'écoulement dans le sol au voisinage du géosynthétique : $i_s = 1$.

Critère de faible résistance à la pénétration de l'eau

La hauteur d'eau H nécessaire au passage de l'eau au travers du géotextile mesurée selon la norme NF EN 13562 doit satisfaire le critère de faible résistance à la pénétration de l'eau :

$$H \leq 5 \text{ mm.}$$

Critère de perméabilité

Il s'agit d'un ouvrage courant et le sol peut être considéré comme un sable propre (pourcentage d'éléments inférieurs à 80 mm < 12 %) :

$$V_{H50} \geq 10 \cdot k_s \cdot i_s,$$

L'indice de vitesse V_{H50} mesuré selon la norme NF EN ISO 11058 doit satisfaire le critère de perméabilité suivant :

$$V_{H50} \geq 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$$

Critère de non rétention de fines

L'ouverture de filtration du géotextile, mesuré selon la norme NF EN ISO 12956, doit satisfaire le critère de non-rétention suivant :

$$O_{90} \geq 63 \text{ } \mu\text{m}$$

Critère de rétention du squelette du sol

La courbe granulométrique du sol est continue et sans plateau.

$$CU = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{1,2}{0,1} = 12, \quad \text{sol à granulométrie étalée : } d_c = d_{50}.$$

On lit : $d_{50} = 0,85 \text{ mm}$

Les facteurs correctifs sont :

- granulométrie continue et étalée : $C_1 = 1,0$
- tranchée drainante : $C_2 = 0,8$
- $i_s < 5$: $C_3 = 1,0$
- filtre seul : $C_4 = 1,0$

On obtient : $C = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 = 0,8$

Soit : $O_{90} \leq 0,8 \cdot 0,85 \text{ mm}$

L'ouverture de filtration du géotextile, mesurée selon la norme NF EN ISO 12956, doit satisfaire le critère de rétention suivant :

$$O_{90} \leq 0,68 \text{ mm (680 } \mu\text{m)}$$

Soit :

H	V_{H50}	O_{90}
$\leq 5 \text{ mm}$	$\geq 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$	$63 \mu\text{m} \leq O_{90} \leq 680 \mu\text{m}$

5.5.2. Exemple 2 : Géotextile de filtration sous enrochement en protection contre l'érosion de berge

Données de l'ouvrage

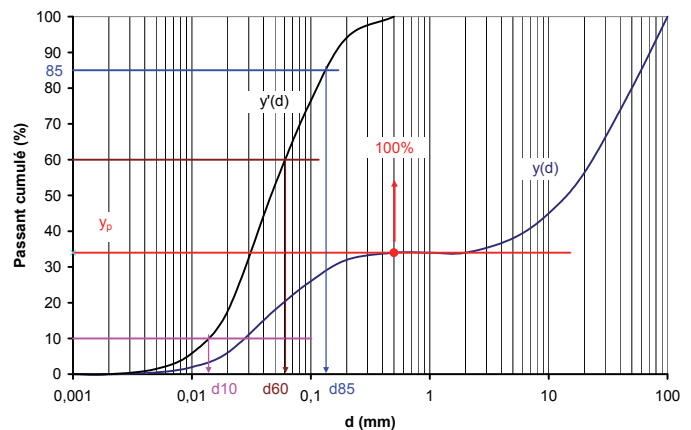
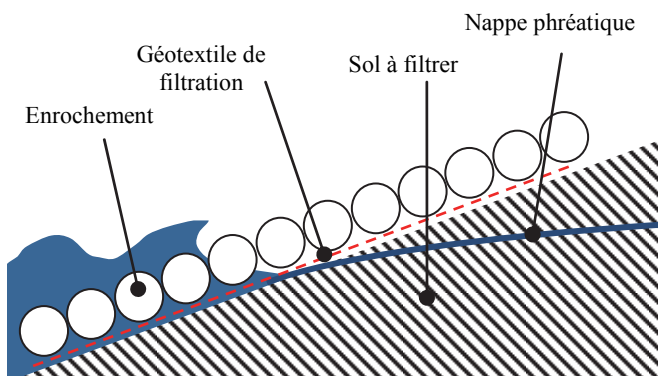


Figure 25 - Exemple de géotextile de filtration en protection de berge et courbes granulométriques du sol à filtrer

Hypothèses de calcul

Granulométrie du sol à filtrer : voir courbes (sol discontinu) de la figure 25. Perméabilité du sol : $k_s = 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$

Gradient hydraulique i_s de l'écoulement dans le sol au voisinage du géosynthétique estimé à 5.

Critère de faible résistance à la pénétration de l'eau

La hauteur d'eau H nécessaire au passage de l'eau au travers du géotextile mesurée selon la norme NF EN 13562 doit satisfaire le critère de pénétration de l'eau :

$$H \leq 5 \text{ mm.}$$

Critère de perméabilité

Pour cet ouvrage considéré comme courant, on retient le critère de perméabilité suivant :

$$V_{H50} \geq 10^2 \cdot k_s \cdot i_s,$$

L'indice de vitesse V_{H50} mesuré selon la norme NF EN ISO 11058 doit satisfaire le critère de perméabilité suivant :

$$V_{H50} \geq 5 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$$

Critère de non rétention de fines

L'ouverture de filtration du géotextile, mesuré selon la norme NF EN ISO 12956, doit satisfaire le critère de non-rétention suivant :

$$O_{90} \geq 63 \mu\text{m}$$

Critère de rétention du squelette du sol

La courbe étant discontinue entre 0,4 et 2 mm, et le pourcentage de sol inférieur à 0,4 mm (34%) étant supérieure à 20 %, on recalcule la nouvelle courbe granulométrique de cette fraction fine. Le nouveau d_{100} est égal au d_{34} de la courbe initiale. Les nouveaux « pourcentages de tamisats cumulés » se déduisent en multipliant ceux de la courbe initiale par le facteur 100/34 (Figure25).

Sur la courbe granulométrique recalculée de la fraction fine, on lit :

$$d_{60} = 60 \mu\text{m} \text{ et } d_{10} = 14 \mu\text{m}, \text{ soit } C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{60}{14} \approx 4.3$$

$$C_U \leq 6, d_c = d_{85} \text{ (fraction fine)} = 150 \mu\text{m}$$

Pour cette fraction fine, les facteurs correctifs sont :

- granulométrie continue mais étroite ($C_U \leq 6$) : $C_1 = 0.8$;
- protection de berges, surcharge normale inférieure à 10 kPa, sol non confiné : $C_2 = 0,8$;
- écoulement alterné : $C_3 = 0,6$;
- filtre seul : $C_4 = 1$.

$$\text{D'où : } C = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 = 0,384$$

$$\text{Soit : } O_{90} \leq 0,384 \cdot 150 \mu\text{m}$$

$$O_{90} \leq 57 \mu\text{m}$$

Au vu de la quantité de fines, on peut supposer que le sol soit cohésif, on retient donc le critère de rétention suivant :

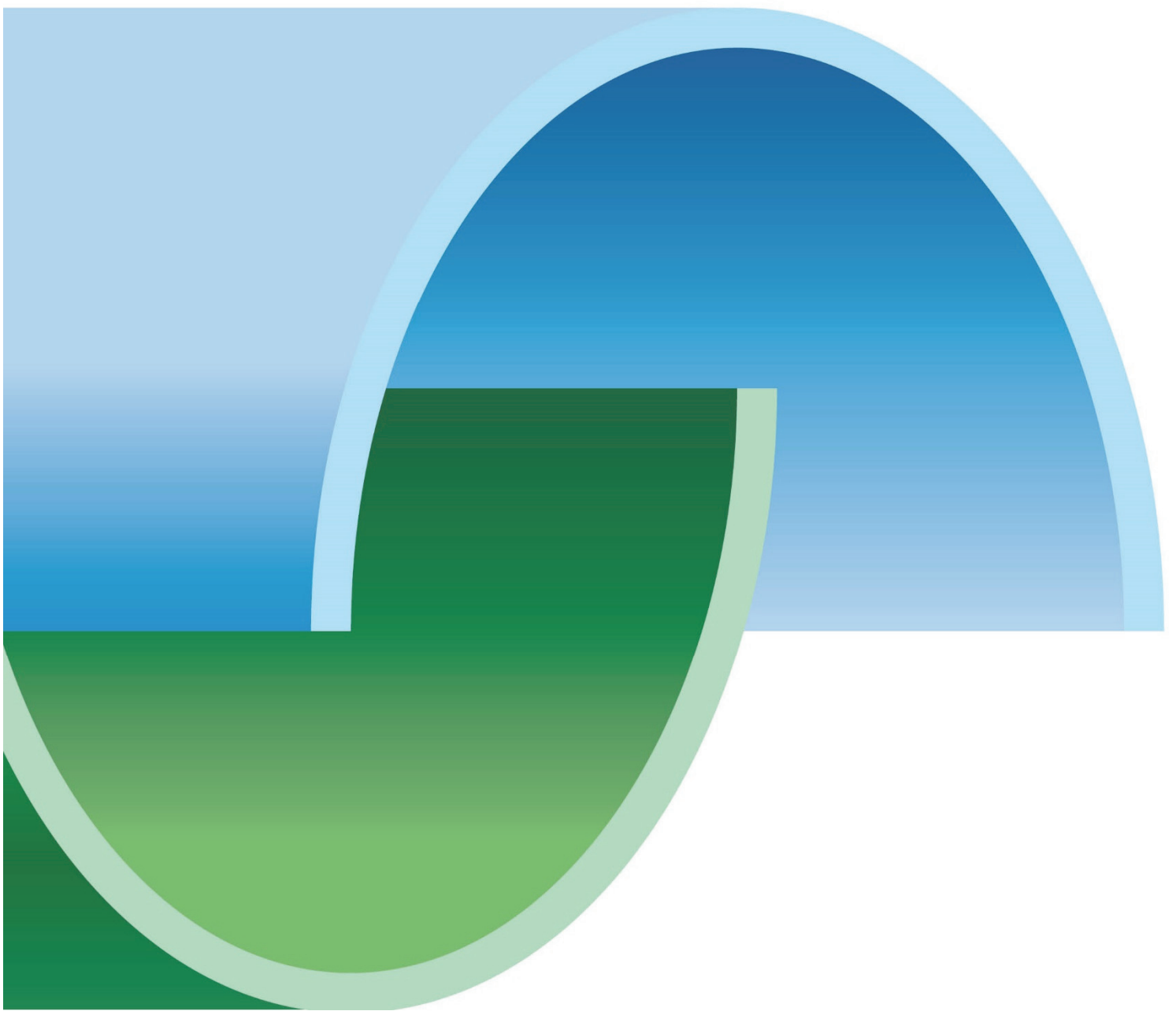
$$O_{90} \leq 80 \mu\text{m}$$

Soit :

H	V_{H50}	O_{90}
$\leq 5 \text{ mm}$	$\geq 5 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$	$63 \mu\text{m} \leq O_{90} \leq 80 \mu\text{m}$

PARTIE **B**

FONCTION DRAINAGE DU GÉOTEXTILE





6

Définition : fonction drainage du géosynthétique

La fonction drainage du géosynthétique consiste à collecter l'eau excédentaire présente dans le sol et à la transporter dans son épaisseur jusqu'à un exutoire. Cette fonction drainage est indissociable de la fonction filtration que doit remplir en premier lieu le dispositif de drainage. À cet égard les paramètres du sol à considérer sont les mêmes que ceux précisés dans la fonction filtration.

7

Contexte hydro-géotechnique à prendre en compte pour la fonction drainage

Pour drainer un ouvrage le concepteur devra déterminer, pour les profils considérés :

- le volume des venues d'eau à évacuer : il s'exprime par un débit unitaire à drainer q_d (en $m^3/(m^2 \text{ s})$ équivalent à des $m \text{ s}^{-1}$, ou en $l/(m^2 \text{ s})$ déterminé par le bureau d'études compétent qui l'évalue en fonction du contexte géotechnique par des méthodes de calcul appropriées ;
- la longueur à drainer jusqu'à l'exutoire,
- la pente du support ;
- la nature des terrains à drainer ;
- la contrainte de compression s'exerçant sur le géosynthétique ;
- la charge hydraulique admissible dans le sol.
- la charge hydraulique admissible dans le géosynthétique (écoulement en charge ou non).



Caractéristiques fonctionnelles du géosynthétique pour le drainage

Les systèmes de drainage ont pour fonction d'évacuer l'eau excédentaire des couches de sol adjacentes sur une surface donnée raccordée à un exutoire.

Deux aspects fondamentaux sont à considérer :

- le dimensionnement de la capacité de débit dans le plan du géosynthétique pour une distance au collecteur donnée,
- la justification de la stabilité de l'ouvrage lorsqu'elle est affectée par la présence du dispositif de drainage ou par les hypothèses de son dimensionnement hydraulique.

8.1. CAPACITE DE DEBIT DANS LE PLAN

La capacité de débit dans le plan $q(\sigma_n, i)$ d'un géosynthétique est mesurée conformément à la norme NF EN ISO 12958. Elle correspond au débit de l'eau par unité de largeur évacué dans le plan du géosynthétique : elle varie avec les conditions d'utilisation du géosynthétique caractérisées par le gradient hydraulique i de l'écoulement, la contrainte de compression σ_n s'exerçant sur le géosynthétique, son mode d'application, et la durée d'utilisation requise.

Note

La valeur caractéristique de capacité de débit dans le plan d'un géosynthétique figure sur la fiche technique du produit. Elle peut-être obtenue par lecture directe si elle existe ou par interpolation entre deux valeurs de gradient pour une contrainte de compression supérieure ou égale à la contrainte d'utilisation. En aucun cas on ne pourra procéder à une extrapolation.

Il appartient donc à la maîtrise d'œuvre de fixer ces trois paramètres qui détermineront la valeur de la capacité de débit nécessaire :

• **Le gradient hydraulique**

Le gradient hydraulique est la perte de charge hydraulique par unité de longueur du géosynthétique.

Selon les applications, la maîtrise d'œuvre aura opté pour un écoulement sans pression (sans charge) ou un écoulement sous pression (en charge) :

Dans le cas d'un écoulement sans pression suivant une pente inclinée à β par rapport à l'horizontale, le gradient hydraulique i est égal à :

$$i = \sin(\beta).$$

La hauteur de la lame d'eau dans le géosynthétique doit rester inférieure à l'épaisseur du géosynthétique sous la contrainte d'utilisation. En conséquence, il n'y a pas d'accumulation d'eau susceptible de déstabiliser le sol recouvrant le géosynthétique de drainage.

Dans le cas d'un écoulement sous pression, il convient dans chaque cas de figure (cf. exemple § 9.2), en fonction de l'incidence de cette mise en charge sur la stabilité de l'ouvrage, de fixer et d'annoncer la pression maximale de l'eau admissible pour l'ouvrage.

• **La contrainte de compression maximale**

La contrainte de compression maximale σ_n s'exerçant normalement au plan du géosynthétique est déterminée en fonction de la position du géosynthétique dans l'ouvrage, selon les règles de l'art en vigueur en mécanique des sols.

Note

Il y a lieu de calculer le cas échéant la contrainte tangentielle sur le géosynthétique.

• **Le mode d'application de la contrainte normale de compression**

Il s'agit ici de définir les types de surfaces en contact avec le géosynthétique au cours de l'essai de capacité de débit dans le plan en fonction de la nature des matériaux en contact avec le géosynthétique dans l'ouvrage.

On n'envisagera que deux cas :

- Mousse/Mousse qui simule le sol de part et d'autre du géosynthétique
- Plaque/Mousse si l'une des faces est en contact avec une surface rigide (dalle, mur) et l'autre avec le sol

En effet, le contact plaque/plaque n'est applicable que si le géosynthétique de drainage est en contact avec une surface rigide (dalle, mur) des deux côtés.

Note

Dans le cas d'un contact avec un dispositif d'étanchéité, on mesurera la capacité de débit du géosynthétique de drainage avec ce dispositif ou à défaut on retiendra le cas le plus défavorable : l'option mousse sur la face du géosynthétique de drainage en contact avec le dispositif.

Le fluage en compression du géosynthétique a un effet sur sa capacité de débit dans le plan : La norme NF EN 12958 donne la valeur de capacité de débit dans le plan à court terme (2 min), il y a lieu de tenir compte de son comportement au fluage sous la contrainte du projet, en compression simple ou en compression cisaillement selon les applications. Compte tenu de la difficulté de réaliser un essai de capacité de débit à long terme (1008 h), il conviendra d'évaluer le comportement à long terme de la manière suivante :

Le rapport d'essai « comportement en compression » selon la norme NF EN ISO 25619-1 fait apparaître en particulier :

- l'épaisseur sous la contrainte σ à $t = 2$ min, notée ci-après : $x(\sigma_n, 0)$

- l'épaisseur sous la contrainte σ à $t = 1008$ h, notée ci-après : $x(\sigma_n, t)$

On définit le rapport F : coefficient de réduction d'épaisseur,

$$F = x(\sigma_n, 0) / x(\sigma_n, t)$$

La capacité de débit à long terme sous la contrainte σ et pour le débit i , notée $q(\sigma, i, \text{long terme})$, sera donc évaluée par la formule

$$q(\sigma, i, \text{long terme}) = q(\sigma, i) / (\alpha \cdot F)$$

où

$q(\sigma, i)$ est la capacité de débit mesurée selon la norme NF EN 12958 ;

α est le coefficient de réduction de débit due à la réduction de perméabilité de la structure drainante et/ou à l'intrusion du filtre (ou autre géosynthétique) dans la structure drainante. Ce coefficient varie en fonction de la contrainte appliquée, de la nature du filtre et de la structure de l'âme drainante sur une plage de 1,0 à 2,5. Il peut être évalué par une étude isolant le phénomène d'intrusion du filtre, du phénomène de compression de la structure drainante, étude réalisée en laboratoire indépendant agréé COFRAC ou équivalent. A défaut la valeur 2,5 sera appliquée.

Note

Pour maintenir les propriétés drainantes du dispositif sur le long terme, la partie drainante du géosynthétique doit évacuer les particules fines qui traversent le filtre. Les produits géocomposites, qui comportent une âme drainante dont la taille des pores est beaucoup plus grossière que celles du ou des filtres associés, ont une capacité d'évacuation des particules fines beaucoup plus grande que les géosynthétiques mono-composants, sans subir de réduction significative de leur capacité de débit.

8.2. DIMENSIONNEMENT COMPLEMENTAIRE LIE AUX CONDITIONS D'UTILISATION

Géosynthétique « anisotrope » : capacité de débit différente dans le sens production et le sens travers

En fonction du sens de circulation de l'eau dans la nappe mise en œuvre, on retiendra la capacité de débit mesurée dans le sens production ou dans le sens travers.

Géocomposite de drainage comprenant un élément imperméable

- quand le flux à drainer q_d ne pénètre que par une face du géosynthétique, Figure 26, le dimensionnement ne devra se faire qu'à partir d'un résultat d'essai de capacité de débit effectué sur un produit dont on aura obstrué une face (cf. norme NF EN ISO 12958 avec mention spécifique sur le rapport d'essai).

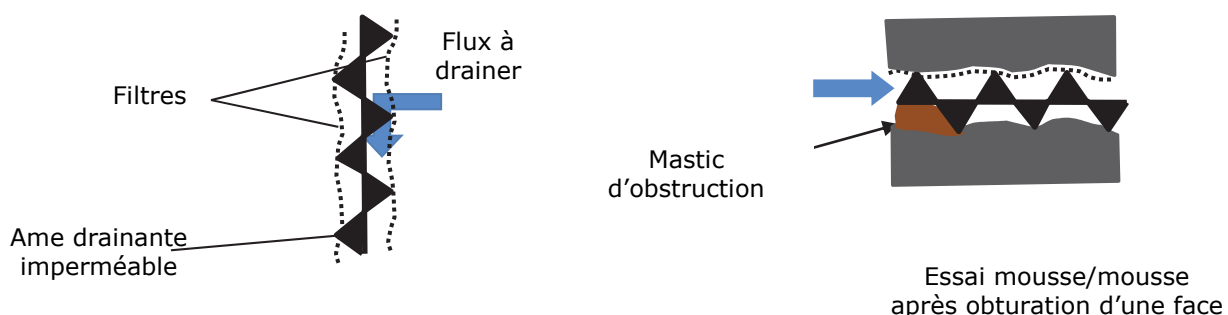


Figure 26:
Conditions d'essai à respecter pour la mesure de la capacité de débit dans le cas où l'eau ne pénètre que par une face du géosynthétique
(condition de la norme d'essai NF EN ISO 12958)

- si le débit collecté par le géosynthétique est transporté des deux cotés de l'élément imperméable vers l'exutoire (exemple écran de rive), Figure 27, le dimensionnement se fera à partir d'un essai de capacité de débit mousse/mousse sur le produit avec ses deux filtres.

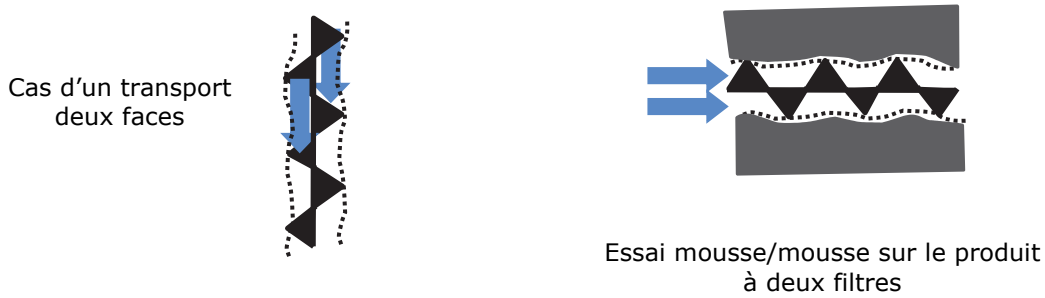


Figure 27:

Conditions d'essai à respecter pour la mesure de la capacité de débit dans le cas où l'eau est transportée des deux côtés de l'élément imperméable

- dans le cas d'un drainage discontinu par bandes étroites, le flux peut aussi arriver latéralement, Figure 28, et être transporté des deux côtés de l'élément imperméable. Dans ce cas le dimensionnement du réseau de drainage peut prendre en compte un essai de capacité de débit mousse/mousse sur un produit avec deux filtres.

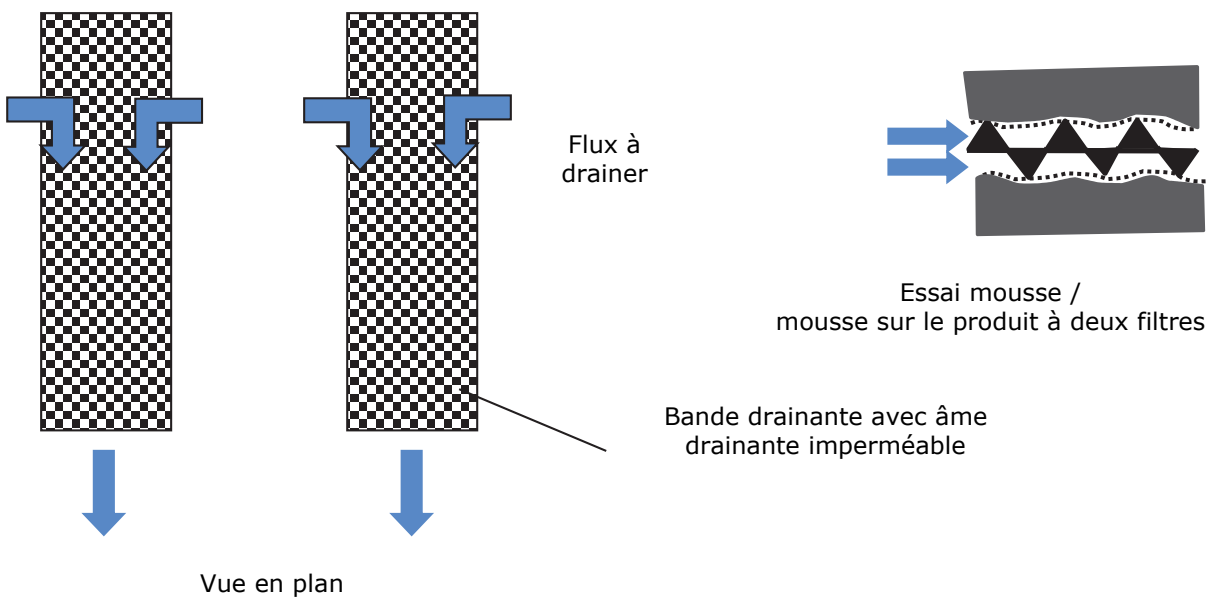


Figure 28 : Conditions d'essai à respecter pour la mesure de la capacité de débit dans le cas où l'eau peut aussi arriver latéralement et transporter des deux côtés de l'élément imperméable

Géocomposite de drainage comportant des éléments collecteurs unidirectionnels (ex: minidrains)

Le dimensionnement se fera sur la base de la capacité de débit de la partie courante (partie entre collecteurs) dans la direction perpendiculaire aux collecteurs et devra prendre aussi en compte la capacité de débit des collecteurs.

Celle-ci sera déterminée avec un essai spécifique adapté non normalisé. Elle pourra aussi être évaluée en appliquant la norme de capacité de débit dans le plan (NF EN ISO 12958). Le prélèvement d'éprouvettes pouvant comprendre un ou plusieurs éléments collecteurs, la capacité de débit de l'élément collecteur est la valeur de la capacité de débit ramenée à un collecteur.

Pour ce type de produit, le débit par mètre est calculé à partir du débit par collecteur multiplié par le nombre de collecteurs par mètre.

9

Exemples de dimensionnement hydraulique (drainage)

Le dimensionnement consiste à déterminer la capacité de débit à requérir pour évacuer le débit de dimensionnement dans des conditions conformes aux contraintes techniques du projet (cf.annexe2)

9.1. DRAINAGE D'UN DEBIT VERTICAL ARRIVANT UNIFORMEMENT REPARTI SUR UN GEOSYNTHETIQUE INCLINE A β , ECOULEMENT GRAVITAIRE, SANS CHARGE (figure 29)

Soit :

L la distance maximale au collecteur,

q_d : le débit de dimensionnement entrant dans la nappe géosynthétique par unité de surface horizontale.

L'écoulement étant gravitaire, la lame d'eau doit être contenue dans le géosynthétique. La pression d'eau sur le géosynthétique est considérée comme nulle : le gradient hydraulique i est constant et égal à $\sin \beta$

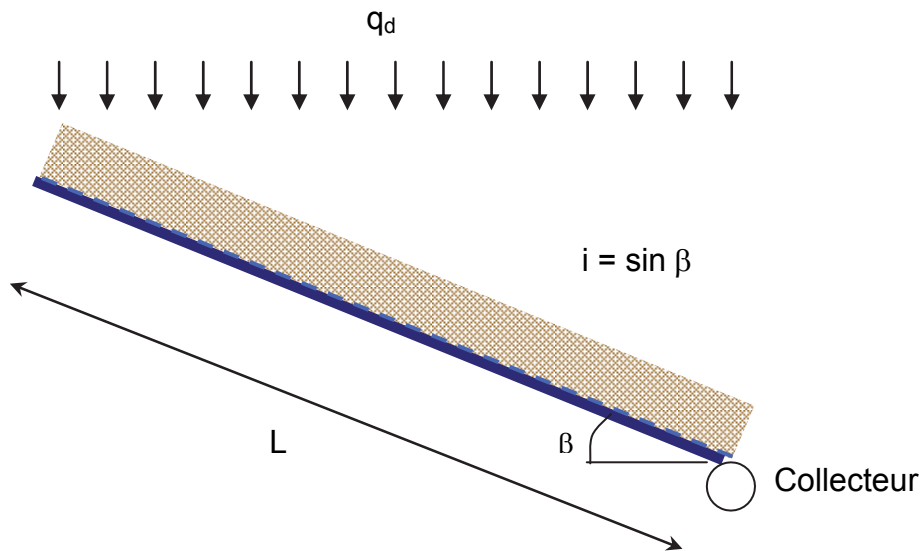


Figure 29 - Écoulement gravitaire dans un géosynthétique en pente

Le débit de dimensionnement entrant dans la nappe géosynthétique est $q_d L \cos \beta$

Sous q_n , la capacité de débit dans le plan du géocomposite pour $i = \sin \beta$ doit être telle que :

$$q(q_n, i) / \sigma F \geq q_d L \cos \beta$$

Dans le cas d'un drainage sur pente, on contrôlera la stabilité au glissement du dispositif. Selon les caractéristiques de frottement aux interfaces, le géosynthétique sera ou ne sera pas sollicité en traction. On

justifiera donc, le cas échéant, la résistance à la traction du produit selon les règles en vigueur (Norme XP G 38067 « Stabilisation d'une couche de sol mince sur pente »).

9.2. DRAINAGE D'UN DEBIT VERTICAL ARRIVANT UNIFORMEMENT REPARTI SUR UN GEOSYNTHETIQUE INCLINE A β , ECOULEMENT EN CHARGE AVEC UN EXUTOIRE D'UN SEUL COTE (figure 30)

On admet que :

h_{max} est la hauteur de colonne d'eau maximale ;

q_d est le débit de dimensionnement entrant dans la nappe géosynthétique par unité de surface horizontale ;

L est la distance maximale au collecteur.

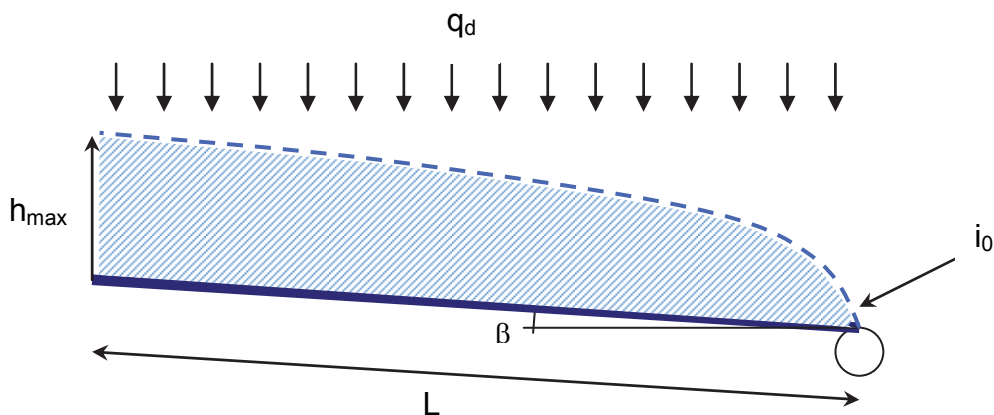


Figure 30 - Écoulement en charge dans un géosynthétique en pente

On note $q(\sigma_n, i)$ la loi d'écoulement dans le géosynthétique pour une contrainte normale de compression σ_n donnée. Elle lie la capacité de débit du géosynthétique au gradient hydraulique i . Ce dernier varie le long de la nappe de 0 à i_0 , la valeur maximale i_0 est atteinte au droit du tuyau collecteur :

$$i_0 = \frac{2(h_{max} + L \sin \beta)}{L}$$

Sous σ_n , la capacité de débit du géosynthétique pour $i = i_0$ doit être telle que :

$$q(\sigma_n, i_0) / \alpha F \geq q_d L \cos \beta$$

La détermination du géosynthétique satisfaisant à ce critère se fait à partir des résultats d'essai de capacité de débit dans le plan, Figure 31.

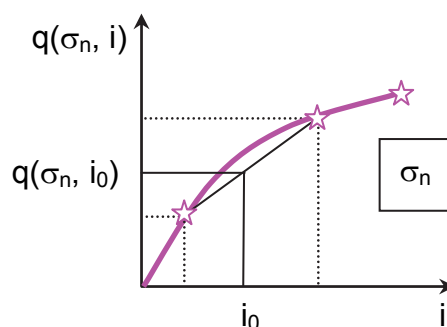


Figure 31 - Courbe construite à partir des résultats d'essais de capacité de débit dans le plan, effectués sous une contrainte σ_n conformément à la norme NF EN ISO 12958, avec au moins une mesure pour un gradient $i \geq i_0$

Cas particuliers :

- pente faible (<5%) : $\sin\beta \approx \tan\beta$
- pente nulle ($\beta=0$) : $i_o = \frac{2h_{\max}}{L}$
- pente nulle ($\beta=0$) et écoulement avec exutoire des deux côtés, Figure32 : $i_o = \frac{4h_{\max}}{L}$

$$q(\sigma_n, i_o) / \alpha F \geq q_d L/2$$

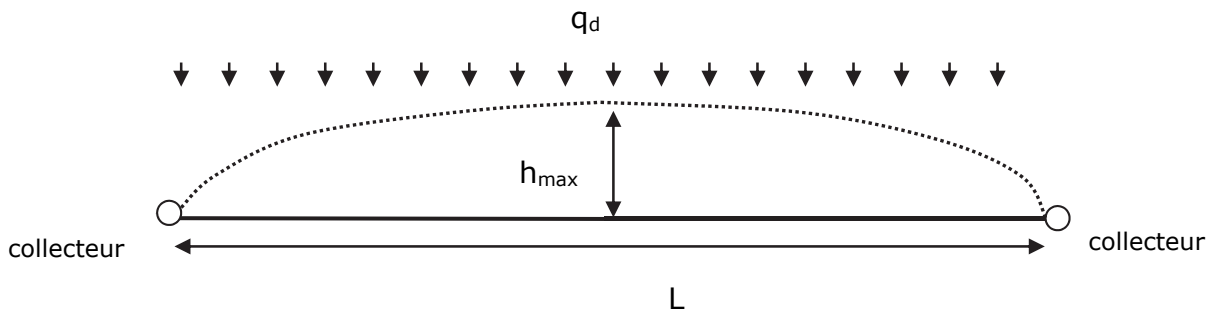


Figure 32 - Écoulement avec exutoire des deux côtés

9.3. ÉQUIVALENCE HYDRAULIQUE ENTRE UN GEOSYNTHETIQUE ET UNE COUCHE GRANULAIRE

La solution prescrite dans un projet est souvent la solution traditionnelle : une couche de matériau granulaire de coefficient de perméabilité « k » et d'épaisseur « e » annoncés.

La solution géosynthétique apparaît alors comme une variante : ses performances hydrauliques doivent être équivalentes à celles de la couche granulaire. Cette équivalence peut être établie comme suit:

Drainage d'un débit vertical arrivant uniformément réparti sur une couche granulaire inclinée de β , écoulement en charge avec un exutoire d'un seul côté. (figure 33).

Soit h_{\max} la hauteur de colonne d'eau maximale :

q_d le débit de dimensionnement entrant dans la couche par unité de surface horizontale,

L , la distance maximale au collecteur.

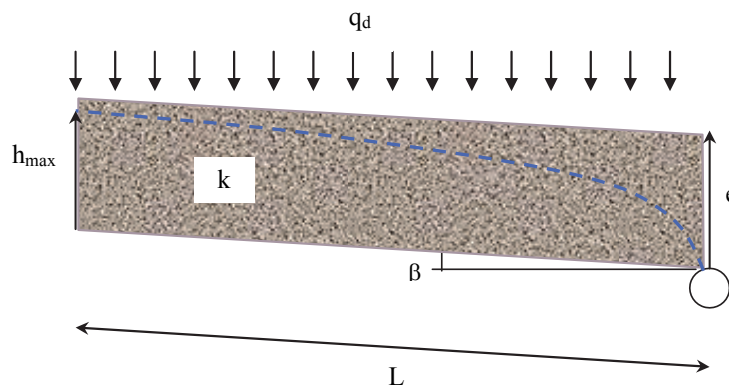


Figure 33 - Drainage par une couche granulaire d'un débit d'alimentation vertical

On se place dans l'hypothèse d'un écoulement à surface libre à faible pente en ne prenant en compte que la composante horizontale de la vitesse.

Par application de la loi de Darcy, en considérant $h_{\max} = L \sqrt{\frac{q_d}{k}} \leq e$, on détermine le débit évacué par la couche granulaire

$$Q = qL \cos \beta = \frac{k(L \sin \beta + h_{\max})^2}{L}$$

Si l'on considère $h_{\max} = e$, on obtient :

$$Q = \frac{k(L \sin \beta + e)^2}{L}$$

⇒ Dimensionnement d'un géocomposite de drainage à partir de la solution granulaire :

$$q(\sigma_n, i) / \alpha F \geq \frac{k(L \sin \beta + e)^2}{L}$$

avec $q(\sigma_n, i)$: capacité de débit dans le plan du géocomposite, sous la contrainte du projet, pour le gradient hydraulique i .

Support horizontal :

$$i = i_0 = \frac{2h_{\max}}{L}$$

h_{\max} étant la hauteur de colonne d'eau admissible dans le géosynthétique pour l'application considérée.

- Support incliné à β : $i = \sin \beta$ pour un écoulement gravitaire

Drainage d'un débit constant à travers un remblai (figure 34)

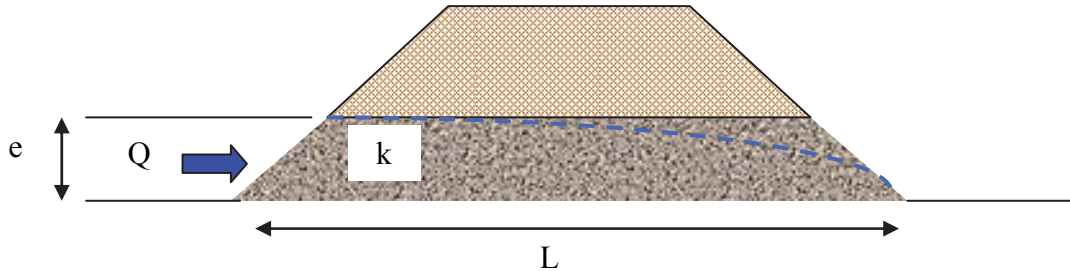


Figure 34 - Drainage par une couche granulaire d'un débit d'alimentation horizontale

On se place dans l'hypothèse d'un écoulement à surface libre à faible pente en ne prenant en compte que la composante horizontale de la vitesse.

Par application de la loi de Darcy, en considérant $h_{\max} = \sqrt{\frac{2Ql}{k}} = e$, on détermine le débit évacué par la couche granulaire :

$$Q = \frac{ke^2}{2L}$$

Dimensionnement d'un géocomposite de drainage à partir de la solution granulaire

$$q(\sigma_n, i) / \alpha F \geq \frac{ke^2}{2L}$$

avec $q(\sigma_n, i)$: capacité de débit dans le plan du géocomposite, sous la contrainte du projet, pour le gradient hydraulique i :

- **Support horizontal** : $i = h_{\max}/L$

h_{\max} étant la hauteur de colonne d'eau admissible à l'amont du remblai.

- **Support incliné à β** :

l'écoulement peut être gravitaire donc $i = \sin \beta$ et on peut imposer $h_{\max} = 0$

10

Aspect de durabilité

On se réfèrera à la Norme NF EN 13252 « *Géotextiles et produits apparentés – Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les systèmes de drainage* ».

Cette norme comporte une annexe B traitant du processus de l'évaluation de la durabilité.

11

Mise en œuvre des géosynthétiques

Ce paragraphe aborde les points particuliers de mise en œuvre des systèmes de drainage et de filtration.

Pour les principes généraux on se référera à la Norme Française G 38 060 qui définit les règles générales de mise en œuvre des géotextiles et produits apparentés applicables à l'ensemble de leurs utilisations.

Il convient de s'assurer que les caractéristiques mécaniques du géosynthétique sont compatibles avec les conditions de mise en œuvre, en tenant compte de

- sa résistance en traction ;
- son allongement à l'effort maximal ;
- sa résistance au poinçonnement.

La diversité des solutions géosynthétiques, en terme de conception et de produits, doit amener la maîtrise d'œuvre à se rapprocher des préconisations des fabricants pour une mise en œuvre adaptée. Des guides techniques spécifiques de mise en œuvre existent pour certaines applications et il convient de s'y référer.

Les recommandations générales applicables aux géosynthétiques peuvent être résumées comme suit :

- Le géosynthétique doit être entreposé dans un endroit propre et plan, et protégé des UV ;
- dans le cas d'ouvrages suffisamment importants, la méthode et le plan de pose doivent être connus avec précision à l'avance ;
- le géosynthétique ne doit pas être perforé ou déchiré.
- le géosynthétique ne doit pas être pollué, par la boue par exemple ;
- le géosynthétique doit être parfaitement plaqué contre le sol au cours du remblaiement (c'est à cette condition que l'on évitera des écoulements d'eau chargée à l'interface et dans le géosynthétique) ;
- le géosynthétique ne doit pas être traîné dans la boue pour éviter de créer une fine pellicule imperméable à la surface du filtre. Le fond et les abords immédiats de la zone de pose doivent être exempts de boue et de fines en suspension dans l'eau, pour éviter un colmatage du géosynthétique à la mise en œuvre. Un nettoyage préalable peut être nécessaire ;
- il faut éviter la pénétration de particules de sols dans la partie drainante. Celle-ci doit être protégée par le filtre en tout point ;
- pour éviter les effets des aléas climatiques, il est recommandé de recouvrir le géosynthétique à l'avancement des travaux ;
- tout système de drainage doit trouver un réseau d'exhaure correctement dimensionné en rapport avec les besoins du projet.
- Les eaux de ruissellement doivent être gérées par des ouvrages de surface pour empêcher leur entrée dans le géosynthétique ce qui pourrait provoquer sa mise en charge et la création de pressions hydrostatiques dans l'ouvrage.

La jonction de deux lés de géosynthétiques se fera par recouvrement ou par couture. Pour assurer la continuité des géosynthétiques, il est indispensable que les bandes soient posées en tuile dans le sens du remblaiement (cf. figure 35) avec un recouvrement de 0,30 m à 1 m selon régularité et déformabilité du support.

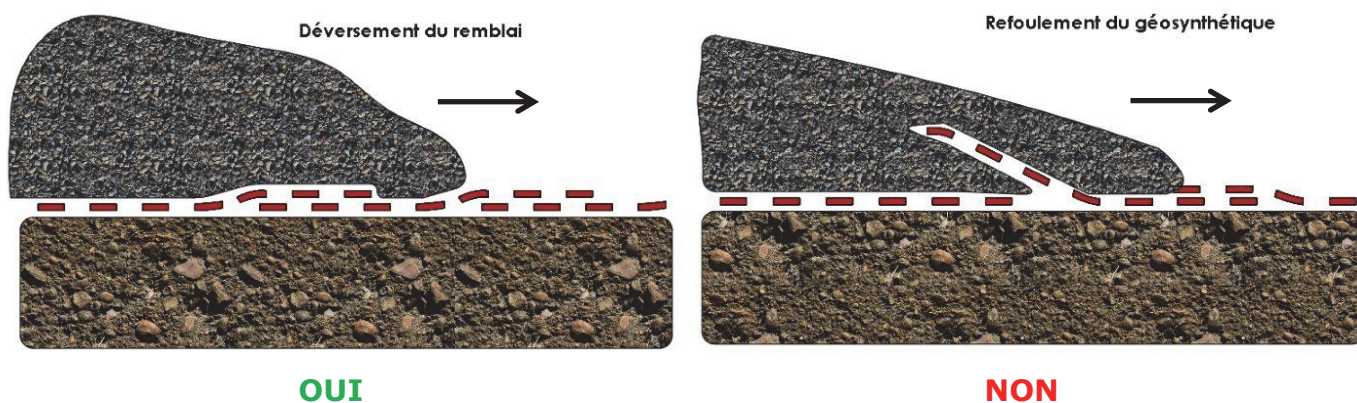


Figure 35- Sens du remblaiement sur le géosynthétique posé « en tuile »

11.1. Cas des tranchées drainantes, épis ou éperons drainants

La configuration traditionnelle de la tranchée drainante est celle constituée d'un filtre géotextile enveloppant un matériau drainant (cf. Figures 1 et 2, et Figure 36). Il est possible aussi de réaliser une tranchée drainante avec un géosynthétique de drainage et de filtration. Le respect des règles suivantes permet au géosynthétique et à la tranchée drainante de jouer correctement leur rôle.

Dans le cas d'une tranchée drainante avec géotextile de filtration

Une bande de géotextile de largeur adaptée à l'ouvrage est déroulée le long de la tranchée (Figure 36-1), puis glissée dans celle-ci. Cette bande est d'abord plaquée sur le fond puis progressivement sur les parois de la tranchée lors du remblaiement (Figure 36-2) de façon à éviter des efforts de tension trop importants dans le géotextile lors du déversement du matériau drainant (Figure 36-3). Une attention particulière sera portée au bon contact du géotextile dans les angles au fond de la tranchée.

Dans le sens longitudinal de la tranchée, le recouvrement entre deux lés successifs de géotextile doit être au minimum de 0,30 m, voire 0,50 m en cas de tranchées profondes (supérieures à 2 m).

Les moyens mis en oeuvre à cet effet ne doivent pas risquer d'entraîner des perforations ou des déchirures du géotextile. Le drain et le matériau drainant sont mis en place aussitôt après la pose du géotextile. Le déversement du matériau drainant doit être effectué de telle sorte qu'il ne risque pas de refouler l'extrémité de la nappe supérieure, au niveau d'un recouvrement, ni de s'intercaler entre le géotextile et la paroi.

Les deux extrémités supérieures du géotextile sont rabattues au-dessus du granulat drainant avec son recouvrement (Figure 36-4) et la partie supérieure de la tranchée est rapidement remblayée de façon à éviter sa pollution en cas de pluie avec le matériau drainant : il est utile de former un cavalier avec celui-ci, (enlevé en fin de chantier) qui limitera la pollution par les eaux de ruissellement et, de surcroît, signalera la tranchée, permettant ainsi d'éviter la circulation des engins de chantier.

On rencontre des cas particuliers où la tranchée est directement recouverte par une couche drainante (granulaire ou géosynthétique) pour la réalisation d'un tapis drainant supérieur par exemple : les deux extrémités supérieures du géotextile ne sont alors pas rabattus.

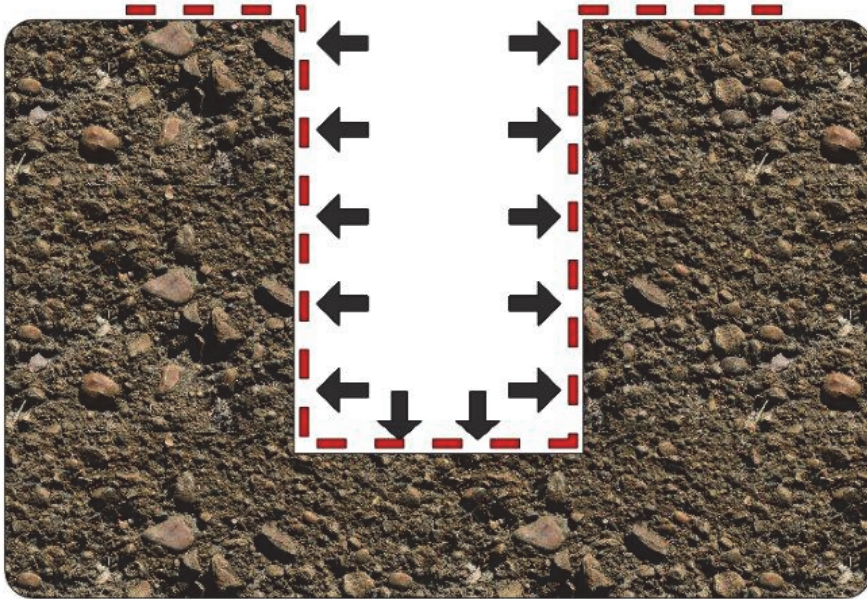
Fond et abords propres

ROULEAU DE GEOTEXTILE DE LARGEUR

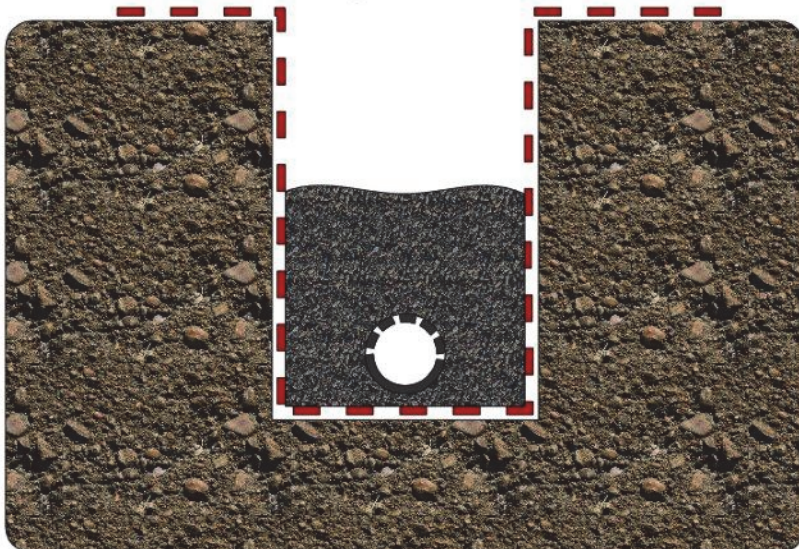
$$L \geq A + B + C + \text{RECOUVREMENT}$$



Géotextile plaqué contre le sol



Bien mettre en place le matériau drainant



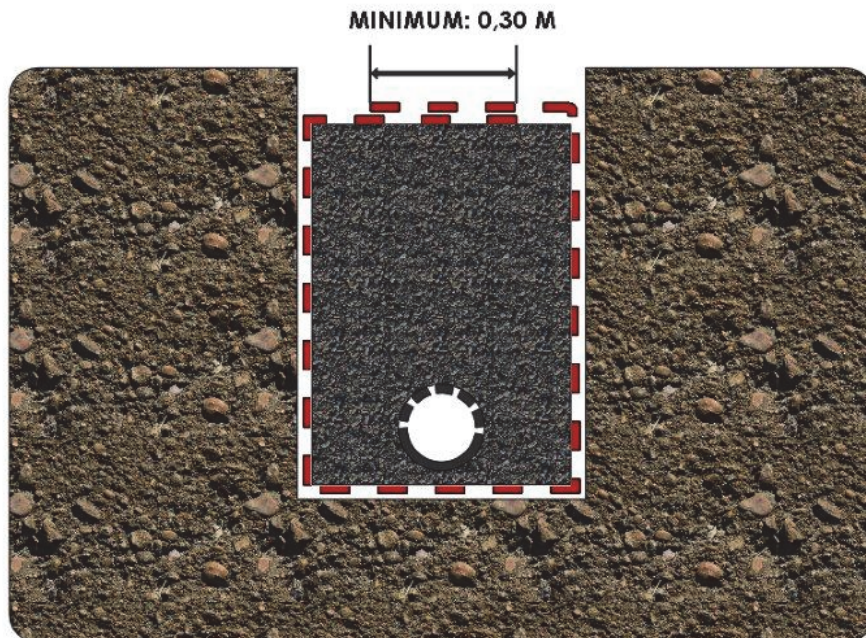


Figure 36-1-2-3-4 - Mise en œuvre du géotextile filtre en tranchée drainante.

Dans le cas d'une tranchée drainante avec géosynthétique de drainage

Le géosynthétique de largeur adaptée à la hauteur de la tranchée est déroulé le long de la tranchée (Figure 37), puis glissée dans celle-ci. Cette bande est plaquée contre la paroi amont de l'écoulement de façon à éviter des efforts de tension trop importants dans le géosynthétique lors du remblaiement.

Dans le sens longitudinal de la tranchée, le recouvrement entre deux lés successifs de géosynthétique doit être au minimum de 0,30 m, voire 0,50 m en cas de tranchées profondes (supérieures à 2 m).

Les moyens mis en œuvre à cet effet ne doivent pas risquer d'entraîner des perforations ou des déchirures du géosynthétique. Le déversement du matériau de remblai doit être effectué de telle sorte qu'il ne risque pas de refouler l'extrémité supérieure du géosynthétique. Les matériaux de remblai au contact du produit seront mis en œuvre par couches successives en éliminant les gros éléments. Ils seront compactés pour assurer le contact sur toute la surface du géosynthétique et permettre le bon fonctionnement du filtre.

La partie supérieure de la tranchée est rapidement remblayée de façon à éviter sa pollution en cas de pluie. Il est utile de former un cavalier avec le sol de remblaiement qui limitera la pollution par les eaux de ruissellement et, de surcroît, signalera la tranchée, permettant ainsi d'éviter la circulation des engins de chantier.

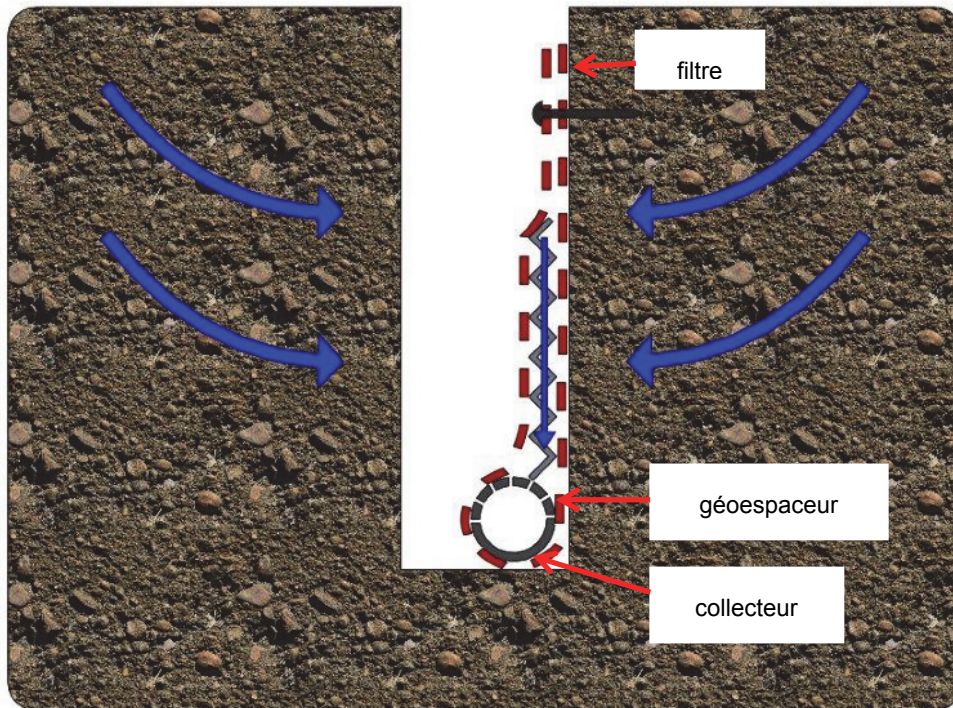


Figure 37 : Mise en œuvre du géosynthétique de drainage

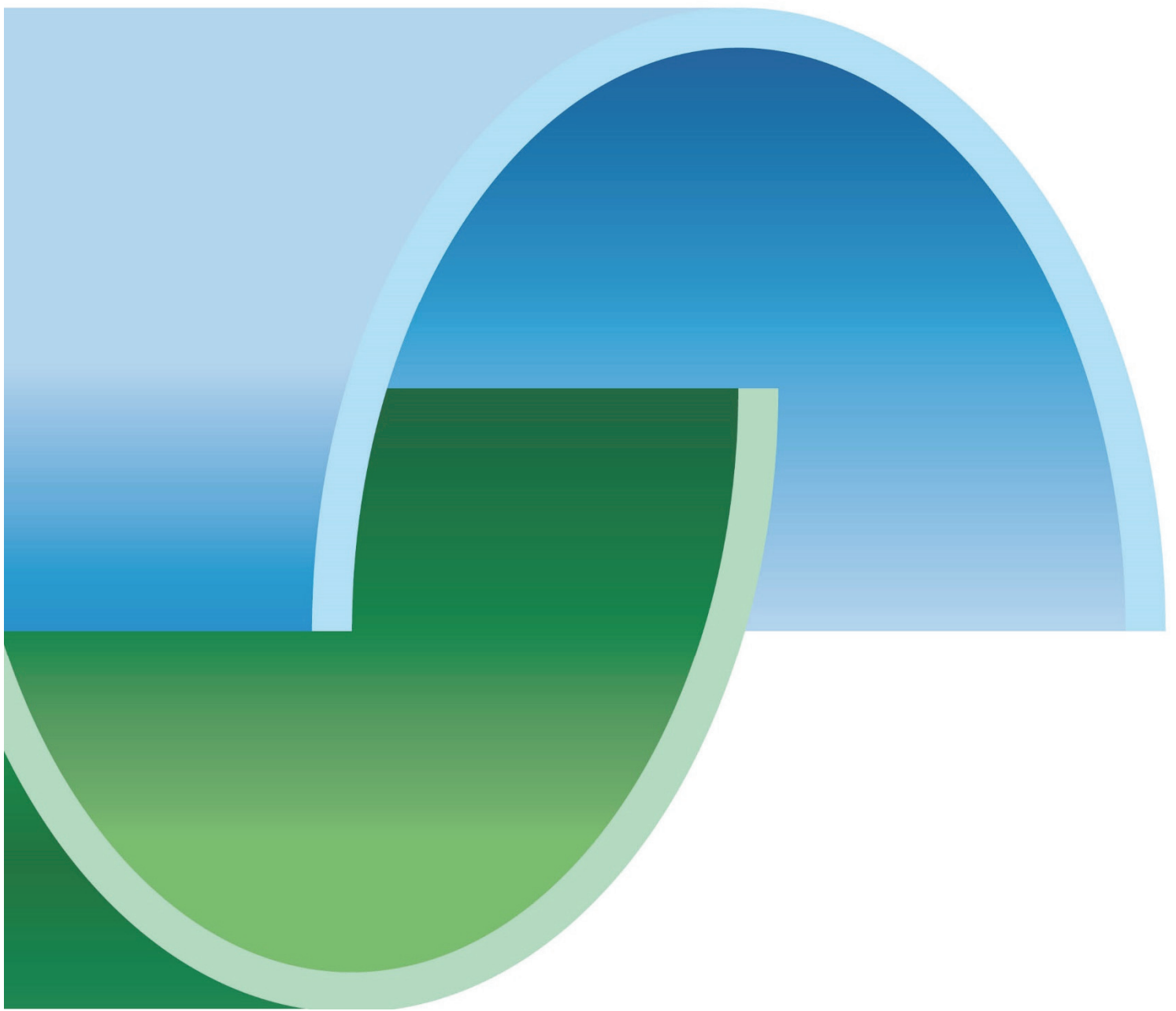
11.2. Cas du drainage talus et versant, masque drainant

Dans le cas d'un drainage sur pente, le géosynthétique sera ou ne sera pas sollicité en traction selon les caractéristiques de frottement aux interfaces.

- Cas où le géosynthétique n'est pas sollicité en traction : la circulation d'engins directement sur le géosynthétique est à proscrire. L'approvisionnement des matériaux devra se faire à l'avancement, sur une couche d'une épaisseur minimale de 30 cm, en évitant toutes manœuvres brutales qui pourraient endommager le géosynthétique.
- Cas où le géosynthétique est sollicité en traction : S'ajoute aux règles précédentes l'obligation de dérouler le géosynthétique d'un seul tenant sur la totalité du rampant et du dispositif d'ancrage de tête de manière à éviter toute discontinuité. Une attention particulière doit être apportée sur le risque d'endommagement du géosynthétique au droit de la crête de talus lorsqu'il y a circulation d'engins de chantier. Une couche de protection granulaire d'une épaisseur minimale de 30 cm, voire plus selon les conditions de chantier, devra être mise en œuvre.

ANNEXES

- 1 – Formules empiriques pour le calcul de la perméabilité k_s des sols
- 2.1. Drainage d'un débit vertical arrivant uniformément réparti sur un géosynthétique incliné à β
- 2.2. Équivalence hydraulique entre un géosynthétique et une couche granulaire



Annexe 1

Formules empiriques pour le calcul de la perméabilité k_s des sols

Le tableau A.1 ci-dessous regroupe des formules d'estimation de k_s établies pour le domaine $10^{-5} \text{ m s}^{-1} < k_s < 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ et qui concernent essentiellement les sols granulaires (sables).

n est la porosité du sol, rapport du volume des vides au volume total de l'échantillon de sol.

(ks en m s ⁻¹ , d ₁₀ en m)	
Formule ne faisant intervenir que le diamètre des grains	$k_s = 10^4 (d_{10})^2$ (Formule de Hazen-Jaky)
Formules faisant intervenir aussi l'arrangement des grains	$k_s = 1,25 \cdot 10^6 \frac{n^3}{(1-n)^2} (d_{10})^2$ (Formule de Kozeny)
	$k_s = 1,95 \cdot 10^4 \left[\frac{n}{0,45} \right]^6 (d_{10})^2$ (Formule de Lousberg)

Tableau A.1 Formules d'estimation de k_s

Pour les argiles, il n'existe pas d'expression générale. On constate assez souvent que le logarithme de la perméabilité est une fonction linéaire de l'indice des vides.

Ordres de grandeur de la perméabilité de matériaux naturels (Tableau A.2)

D'après Bear (1972) - Source: http://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_conductivity

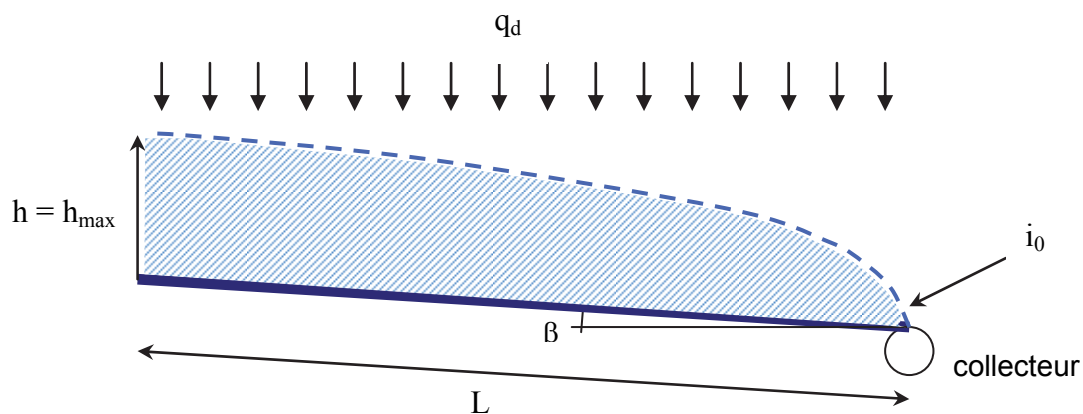
k (m/s)	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²
Niveau de perméabilité	Perméable			Semi-perméable				Imperméable					
Sable et gravier non consolidé	Gravier bien gradué		Sable et sable graveleux bien gradué		Sable très fin, silt, loess, limon								
Argile et sol organique non consolidé					Tourbe		Argile stratifiée		Argile grasse non altérée				

Tableau A.2 Perméabilité des matériaux naturels

Bear, J. (1972). Dynamics of Fluids in Porous Media. Dover Publications. ISBN 0-486-65675-6.

Annexe 2

A.2.1. Drainage d'un débit vertical arrivant uniformément réparti sur un géosynthétique incliné à β , écoulement en charge avec un exutoire d'un seul côté (cf. 9.2.)



Soit $Q(x)$ le débit dans le géosynthétique à une distance « x » du collecteur. Il varie de 0 pour $x = L$ à « $q_d L \cos \beta$ » pour $x = 0$.

$q(\sigma_n, i)$ est la capacité de débit du géosynthétique pour un gradient donné « i »

Compte tenu de la diminution de la pente de $q(\sigma_n, i)$ quand i augmente, on a dans tout le géosynthétique :

$$\frac{q(\sigma_n, i)}{i} \geq \frac{q(\sigma_n, i_0)}{i_0} \text{ soit } q(\sigma_n, i) \geq q(\sigma_n, i_0) \frac{i}{i_0}$$

Dimensionner le géosynthétique sur la base de $q(\sigma_n, i_0)$ va dans le sens de la sécurité car on va le dimensionner sur la base d'une capacité de débit plus faible en partie courante qu'en réalité.

Si « $i(x)$ » est le gradient dans le géosynthétique à une distance x du collecteur, le débit $Q(x)$ dans le géosynthétique est évalué par :

$$Q(x) = \frac{q(\sigma_n, i_0)}{i_0} i(x)$$

(compte tenu de ce qui précède on impose un gradient plus élevé dans le géosynthétique).

A une distance x du collecteur, le débit à drainer sera : $Q(x) = q_d (L-x) \cos \beta$

On obtient dans tout le géosynthétique :

$$q(\sigma_n, i_0) \frac{i(x)}{i_0} = q_d (L-x) \cos \beta$$

Le dimensionnement du géosynthétique consiste à dire que sa capacité de débit doit être au moins égale au débit à évacuer au droit du tuyau collecteur :

$$q(\sigma_n, i_0) = qd L \cos \alpha$$

$$i = \frac{dh}{dx} = (L - x) \frac{i_0}{L}$$

d'où

$$h(x) = \left(Lx - \frac{x^2}{2}\right) \frac{i_0}{L} + \text{cste}$$

pour $x=0$, $h(0) = 0 \Rightarrow \text{Cte} = 0$;

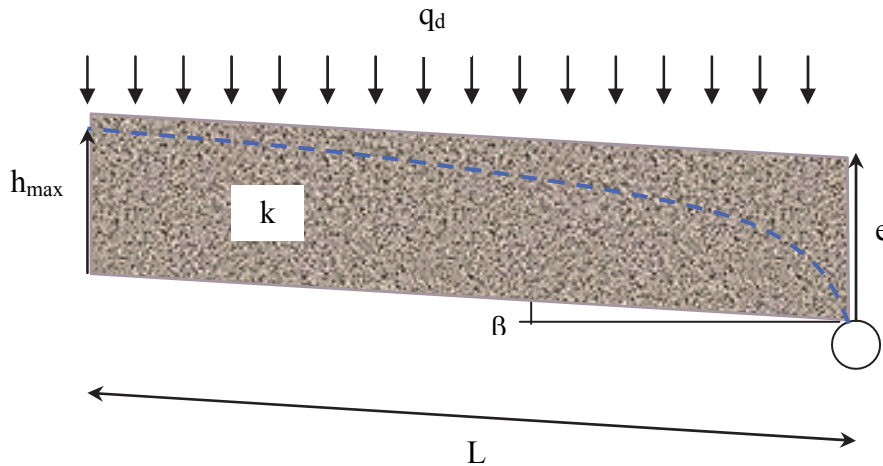
pour $x=L$ $h(L) = h_{\max} + L \sin \alpha$

$$h_{\max} + L \sin \beta = \frac{L^2}{2} \frac{i_0}{L}$$

$$i_0 = \frac{2(h_{\max} + L \sin \beta)}{L}$$

A.2.2. Équivalence hydraulique entre un géosynthétique et une couche granulaire (cf. 9.3.)

Drainage d'un débit vertical arrivant uniformément réparti sur une couche granulaire inclinée à β , écoulement en charge avec un exutoire d'un seul côté



loi de Darcy : $v = k \cdot \frac{dh(x)}{dx}$

on considère $h(x) \leq e$ $Q = v \cdot h(x) = k \cdot h(x) \cdot \frac{dh(x)}{dx} = q \cos \beta (L - x)$

$h(x) dh(x) = \frac{q}{k} \cos \beta (L - x) dx$

$\frac{h^2(x)}{2} = \frac{q \cos \beta}{k} (Lx - \frac{x^2}{2}) + cste$

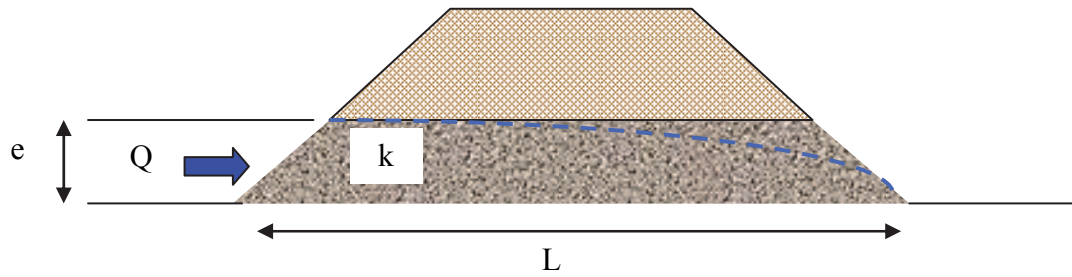
conditions aux limites : $h(0) = 0 \rightarrow cte = 0$

$h(L) = L \cdot \sin \beta + h_{max} \rightarrow \frac{q \cos \beta \cdot L^2}{2k} = \frac{(L \cdot \sin \beta + h_{max})^2}{2}$

La couche granulaire évacue un débit Q tel que :

$Q = qL \cos \beta = \frac{k(L \cdot \sin \beta + h_{max})^2}{L}$ avec $h_{max} < e$

Drainage d'un débit constant à travers un remblai



$$Q = v.h(x) = k.h(x) \cdot \frac{dh(x)}{dx} \quad h(x)dh(x) = \frac{Q}{k} dx$$

$$\frac{h^2(x)}{2} = \frac{Q}{k} x + cte$$

Conditions aux limites : $h(0) = 0 \quad \rightarrow \quad cte = 0$

$$h(L) = e \quad \rightarrow \quad \frac{QL}{k} = \frac{e^2}{2} \quad e = \sqrt{\frac{2QL}{k}}$$

La couche granulaire évacue un débit Q tel que $Q = \frac{ke^2}{2L}$

RÉFÉRENCES



- NF EN 13252 - Caractéristiques requises pour l'utilisation des géotextiles et produits apparentés dans les systèmes de drainage
- NF EN 13562 - Géotextiles et produits apparentés - Détermination de la résistance à la pénétration d'eau (essai sous pression hydrostatique)
- NF EN 15237 - Exécution des travaux géotechniques spéciaux – drains verticaux
- NF EN 933-2 - Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 2 : détermination de la granularité - Tamis de contrôle, dimensions nominales des ouvertures.
- NF EN ISO 10318 - Géosynthétiques, Termes et Définitions
- NF EN ISO 11058 - Géotextiles et produits apparentés - Détermination des caractéristiques de perméabilité à l'eau normalement au plan, sans contrainte mécanique.
- NF EN ISO 12956 - Géotextiles et produits apparentés - Détermination de l'ouverture de filtration caractéristique.
- NF EN ISO 12958 - Géotextiles et produits apparentés - Détermination de la capacité de débit dans leur plan.
- NF EN ISO 25619-1 - Géosynthétiques - Détermination du comportement en compression- Partie 1 : propriétés de fluage en compression
- NFP 94-040 et 94-068 - Mesure de capacité d'absorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux.
- NFP 94-051 - Limites d'Atterberg
- NFP 94-053 - Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire
- NFP 94-093 - Compacité (Proctor Normal)
- NFX 30-442 - Détermination au laboratoire du coefficient de perméabilité à la saturation d'un matériau.
- NF EN 933-8 - Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Equivalent de sable
- XP G 38 030 - Géotextiles - Détermination du nombre de constriction.
- NF G 38063 - Recommandations pour l'emploi des géotextiles sous remblais sur sols compressibles. (1993) - XP G 38 067 - Utilisation des géotextiles et produits apparentés - Murs inclinés et talus raidis en sols renforcés par nappes géosynthétiques - Justification du dimensionnement et éléments de conception.
- NF EN ISO 10776 - Géotextiles et produits apparentés, détermination des caractéristiques de perméabilité à l'eau, perpendiculairement au plan et sous contraintes.
- NF P11-300 - Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières
- NF G 38060 - Textiles - Articles à usage industriel - Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés - Mise en oeuvre - Contrôle des géotextiles et produits apparentés.
- CFG - Fascicule de recommandations n°11 (1995) - Recommandations générales pour l'utilisation des géosynthétiques dans les centres de stockage des déchets.
- Guide technique du drainage routier (SETRA, 2006)
- Ecrans drainants en rives de chaussées (SETRA, 1992)