

LES SYSTÈMES DE FILTRATION GÉOTEXTILE DANS LA PROTECTION CONTRE L'ÉROSION CÔTIÈRE – RETOUR D'EXPÉRIENCES

GEOTEXTILE FILTRATION SYSTEMS IN MARINE EROSION CONTROL PROTECTION – DESIGN CASE STUDY

Ricardo SANCHEZ PEREZ
TenCate Geosynthetics, Bezons, France
ESTP PARIS – Universidad Politécnica de Valencia

RÉSUMÉ – Les applications des géotextiles non tissés continuent à évoluer au fur et à mesure que ceux-ci se développent industriellement en améliorant leurs propriétés mécaniques et hydrauliques. Cet article a comme objectif de faire un retour d'expériences sur 20 ans d'application des géotextiles de filtration sur des ouvrages marins comme protection contre l'érosion. En même temps, on analysera comment ce retour d'expériences nous permet de dimensionner actuellement nos solutions et comment interpréter les avantages apportés par ces solutions en montrant des cas réels et récents d'applications.

Mots-clés : géotextile, non-tissé, filtration, érosion côtière

ABSTRACT – The practical applications of non-woven geotextiles continue to evolve as they industrially develop improving their mechanical and hydraulic properties. This article aims to provide feedback on more than 20 years using filtration non-woven geotextiles in marine applications for erosion control. We will also analyze how this feedback and the theory behind it allows us to design solutions today

Keywords: geotextile, non-woven, filtration, erosion control

1. Introduction

Dans le cadre de l'utilisation de géotextiles comme mécanisme de filtration, la finesse de la structure en filaments continus des géotextiles non-tissés facilite la création de filtres granulaires dans les premières couches de filaments à proximité de l'interface avec le sol. Le comportement du géotextile face à ce type de situation est déterminé par des caractéristiques comme le nombre de constriction et l'ouverture de filtration. Dans l'article, on analyse comment on définit ces paramètres en fonction des performances souhaitées dans l'application et on étudie comment ils jouent un rôle déterminant dans la rétention et la stabilisation du squelette du sol en surface afin de garantir la constitution d'un filtre granulaire stable sans colmatage interne.

Le principe de dimensionnement est principalement basé sur le retour d'expérience. De ce fait, cette connaissance sur les ouvrages anciens et nouveaux est très importante. L'article propose un principe de dimensionnement ainsi que sa base théorique.

L'article présente également l'utilisation des géotextiles de filtration sur un ouvrage récemment réalisé à Saly (Sénégal) en 2019. La région, fortement impactée par l'érosion côtière, cherchait des solutions afin de protéger les plages dans un secteur très touristique. La solution retenue a été de réaliser sous l'enrochement un filtre en géotextile qui a stabilisé l'ouvrage et ainsi participé au succès de ce projet.

1.1. Les systèmes de filtration granulaires et géotextiles

Les géotextiles de filtration sont aujourd'hui (et depuis plus de 20 ans) utilisés dans la technique de création de filtres granulaires. Ces filtres granulaires sont largement utilisés dans des ouvrages hydrauliques de stockage comme bassins et barrages ainsi que dans des ouvrages maritimes où les contraintes hydrodynamiques sont plus défavorables pour l'ouvrage.

La technique des filtres granulaires a comme objectif de créer artificiellement un auto-filtre granulaire en superposant des couches de sol de granulométrie croissante (Figure 1). Les épaisseurs de ces couches varient en fonction de sa granulométrie. La nécessité d'utiliser des matériaux de carrière précis ainsi que

d'une mise en œuvre assez complexe, rendent ces techniques très coûteuses. De ce fait, la recherche et développement de l'utilisation de géotextiles pour ces applications est devenu indispensable.

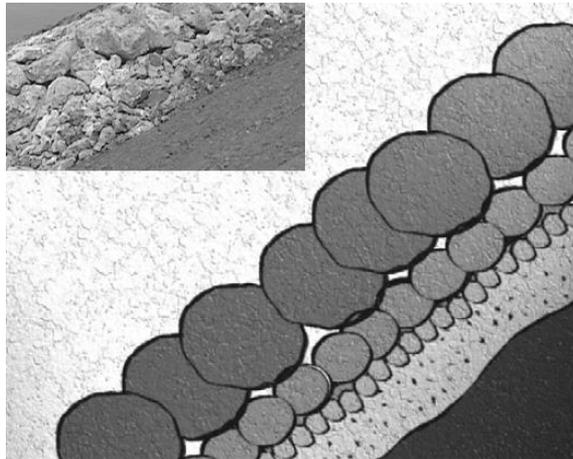


Figure 1. Auto-filtre granulaire naturel

Les solutions de géotextiles de filtration permettent l'achèvement du filtre en remplacement d'une solution « traditionnelle » en diminuant les coûts et en facilitant grandement la mise en œuvre.

Les avantages de réussir avec un tel type de solution résume les avantages généraux des géosynthétiques. L'utilisation d'un produit synthétique qui a été dimensionné pour une certaine application, au lieu d'un produit naturel, permet de réaliser l'ouvrage avec une fiabilité et une régularité certifiée. Dans une production industrielle, nous sommes capables de mesurer et homogénéiser les caractéristiques de performance d'un produit pour les orienter vers notre objectif, ce que nous ne pouvons pas faire avec les matériaux traditionnels.

En plus, en comparaison avec les matériaux de carrière qui deviennent de plus en plus rares, les géotextiles présentent des solutions techniques moins coûteuses en temps ainsi qu'en mise en œuvre.

Même si on pourrait penser (et la question est souvent posée) que le fait d'utiliser des matériaux synthétiques (principalement dérivés du pétrole) au lieu de matériaux naturels va contre nos objectifs de développement durable en tant que société, la réduction des volumes de terrassement, transport et extraction de carrières par l'utilisation de géotextiles, font que l'empreinte carbone des solutions géotextiles/géosynthétiques est largement inférieure que celle des solutions naturelles. Nous ne développerons pas ce point, qui n'est pas l'objectif de l'article, mais c'est un point important à signaler étant le sujet d'actualité.

1.2 Principe de système de filtration géotextile sur un sol naturel

Les sols naturels contiennent une grande partie de vides entre les grains des sols. La circulation d'eau peut créer une déstabilisation des particules qui sont principalement situées à l'interface avec l'extérieur. Pour éviter cette situation, comme on a vu dans le point précédent, nous pouvons utiliser un système de filtration géotextile comme montré sur la Figure 2.

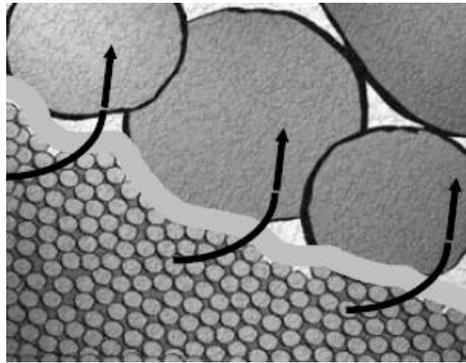


Figure 2. Système de filtration géotextile

Cette séparation permet de laisser libre la circulation d'eau en permettant de retenir le squelette de sol même avec l'écoulement de l'eau à travers du filtre.

Cette application reste très intéressante, cependant, il convient de mentionner le phénomène du colmatage, ce qui peut réduire l'efficacité du filtre. Afin d'éviter le colmatage du géotextile, ce qui pourrait entamer une réduction importante des performances hydrauliques du filtre géotextile, il est important que ce dernier puisse laisser passer les particules très fines qui se déplacent avec l'eau tout en garantissant que le squelette du sol garde sa forme.

La figure 3 montre comment le sol en contact avec le système de géotextile de filtration forme des voûtes naturelles avec l'écoulement d'eau. On voit comment le filtre laisse passer les fines particules instables pour éviter le colmatage tout en garantissant la perméabilité dans le long terme.

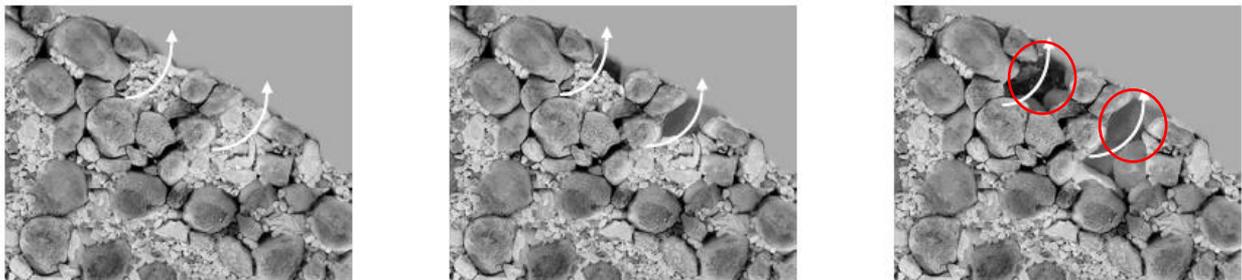


Figure 3. Formation de voûtes naturelles

On pourrait penser que la solution à cette problématique est simple, et en théorie elle est effectivement simple. Il faut juste s'assurer que l'ouverture de filtration soit seulement légèrement supérieure à la taille des particules les plus fines. Néanmoins, assurer cette ouverture de filtration dans un géotextile non-tissé n'est pas si simple. De ce fait, beaucoup d'études de recherche et développement ont été réalisées afin de pouvoir déterminer quelles sont les caractéristiques qui déterminent l'aptitude à un géotextile à garantir ces performances. Nous pouvons nommer ici par exemple Ph. Delmas, O. Artières et J.P. Giroud qui ont fait un énorme travail de recherche.

2. Base théorique – nombre de constriction

La caractéristique la plus déterminante, qui a permis d'évoluer dans ce sujet, a été ce qu'on appelle le nombre de constriction. Les résultats des études de recherche ont conclu ce qui suit :

- le nombre minimal de constriction permet une homogénéité de l'ouverture de filtration pour éviter le colmatage par les fines en suspension.
- le nombre maximal de constriction évite le colmatage interne par destabilisation du squelette.

Mais que représentent ces constrictions et comment peut-on arriver à déterminer dans quel intervalle de valeurs on doit se placer ?

J.P.Giroud a établi un modèle théorique qui permet de calculer les ouvertures de filtration minimale et maximale à partir des paramètres structuraux des produits. Avec des essais réels sur les produits, ce modèle a pu être validé.

Selon ce modèle, l'ouverture de filtration dépend des 4 paramètres structuraux suivants :

- diamètre des fibres de la couche de filtration : d_f (en m)
- épaisseur de la couche de filtration : $t_{GT,F}$ (en m)
- masse volumique des fibres : ρ_f (en kg/m^3)
- masse surfacique de la couche de filtration : $\mu_{GT,F}$ (en kg/m^2)

Elle se calcule par la relation suivante :

$$\frac{O_0}{d_f} = \frac{1}{\sqrt{(1-n)}} - 1 \quad (1)$$

avec n, porosité du géotextile :

$$n = 1 - \frac{\mu_{GT,F}}{\rho_f \cdot t_{GT,F}} \quad (2)$$

Ce modèle permet de définir le paramètre adimensionnel du nombre de constrictions. Cela devient un paramètre très important car il permet de mettre en relation l'épaisseur de la couche de filtration à la porosité « n » et à la taille des filaments « d_f ». Cela permet d'établir l'homogénéité des ouvertures de filtrations indépendamment de la structure du géotextile filtre.

Qu'est-ce que représente une constriction ? Lorsqu'une particule de sol va traverser un géotextile filtre, elle doit trouver son chemin de passage entre les fibres qui forment l'épaisseur. On appelle constriction à ces passages qui sont constitués d'au moins trois fibres dans le géotextile (non tissé dans ce cas). La taille de ces constrictions correspond au diamètre de la plus grosse sphère qui passe juste à travers ce passage ou constriction.

Les diverses études ont conclu que le rang de valeurs pour le nombre de constrictions « m » d'un géotextile filtre doit être entre 25 et 40. Afin d'expliquer d'une manière simple comment on arrive à cet intervalle de valeurs, on va se mettre dans les cas extrêmes d'un géotextile infiniment épais et d'un géotextile infiniment fin (ou d'une seule couche de filaments).

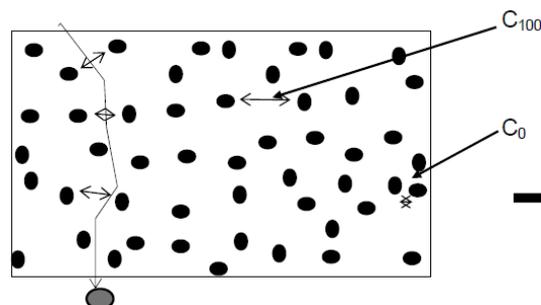


Figure 4. Géotextile non tissé avec constrictions traversées par une particule

Afin d'explorer la variation entre un géotextile infiniment épais et un géotextile infiniment fin, on va utiliser le schéma de la Figure 5, qui permet de comparer 4 géotextiles de différentes épaisseurs.

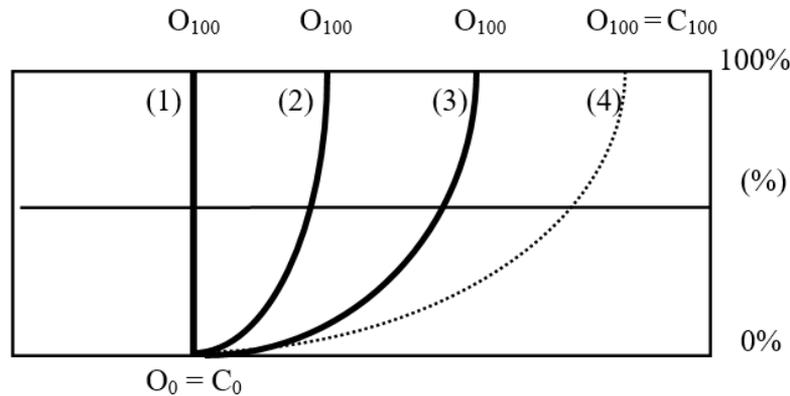


Figure 5. Distribution de l'ouverture de filtration pour 4 géotextiles non tissés (1) infiniment épais, (2) épais, (3) fin et (4) infiniment fin. (4) représente également la distribution de la taille des constrictions pour les 4 géotextiles.

On peut en déduire :

- (4) Si nous imaginons un géotextile infiniment fin, on pourrait considérer qu'il ne serait qu'une couche de fibres, pourtant, chaque passage correspondra à une seule constriction. Dans ce cas, la taille de cette constriction sera l'ouverture de filtration. Dans un non tissé, cela créera un produit avec une distribution de l'ouverture de filtration très grande et pourtant, non homogène.
- (1) Dans un géotextile infiniment épais, chaque passage comportera un nombre infini de constrictions et pourtant, par pure probabilité, ce passage comportera la constriction la plus petite du géotextile. On peut donc considérer que tous les passages ont la même ouverture de filtration (mais qui serait trop réduite pour permettre aux fines en suspension de passer)

Ces deux extrêmes valident le fait que l'objectif est d'ajuster le produit entre les courbes (2) et (3) de manière à ce que le produit soit suffisamment homogène.

Avec la Figure 6, les résultats de J.P. Giroud permettent d'exprimer la variation de l'ouverture de filtration maximale (O_{100}) avec l'épaisseur du non-tissé pour un diamètre de fibre constant. Dans le graphique, on peut observer comment O_{100} diminue lorsque l'épaisseur du géotextile augmente et l'on arrive à une asymptote qui correspond à l'ouverture minimale de filtration O_0 , ce qui valide l'analyse antérieure.

Pourtant, si le produit est très fin, le graphique montre que la distribution d'ouverture de filtration sera très grande, et comme on a dit avant, si le produit est infiniment épais $O_{100} \approx O_0$ et donc le produit présente la même ouverture de filtration dans sa surface.

On peut déduire de la Figure 6 que O_{100} tend très rapidement vers O_0 quand l'épaisseur du produit augmente et que O_{100} se stabilise près de l'asymptote à partir d'un nombre de constrictions de 25 et cela reste valable quelle que soit la structure du non-tissé.

J.P Giroud propose la formule suivante pour établir ce nombre de constrictions

$$m = \sqrt{(1 - n)} \cdot \frac{t_{GT}}{d_f} \quad (3)$$

où m , n , t_{GT} et d_f sont les paramètres expliqués pour les équations (1) et (2).

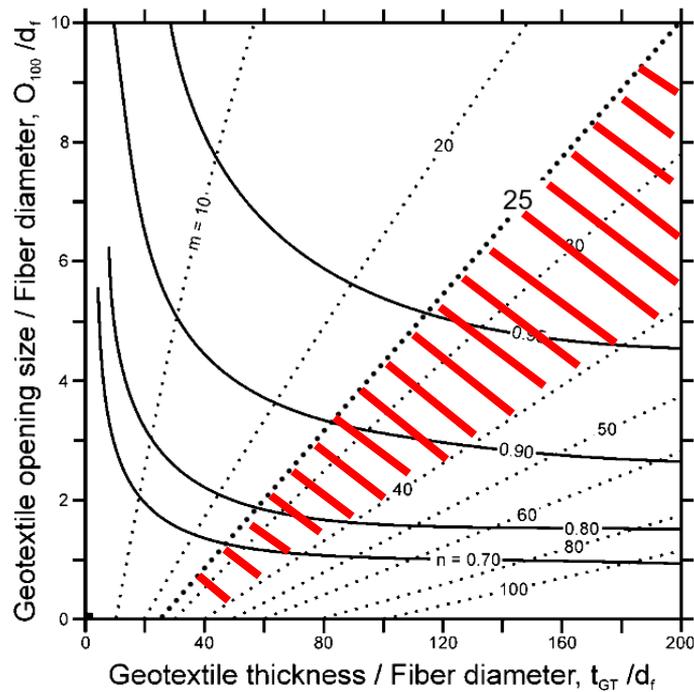


Figure 6. Graphique de J.P Giroud (1996). Les courbes continues sont les courbes théoriques qui donnent l'ouverture de filtration relative en fonction des épaisseurs relatives pour plusieurs géotextiles avec la même porosité. Les courbes discontinues sont les courbes d'égal nombre de constrictions.

En conclusion, le nombre de constrictions optimale s'établit dans l'intervalle $25 \leq m \leq 40$ pour un géotextile de filtration. La limite inférieure correspond à l'homogénéité du filtre et la limite supérieure correspond à la stabilité des particules de sol à l'interface sol-géotextile. Cela pourra garantir le $40 \leq O_{100} \leq 80$ requis sur ce type d'ouvrage.

2. Dimensionnement – Cas pratique – Saly - Sénégal

Même s'il y a d'autres paramètres qui jouent un rôle très important dans le dimensionnement des filtres géotextiles pour les ouvrages maritimes, le nombre de constrictions étant le cas le plus particulier, nous ne développerons pas en détail les autres paramètres mais présenterons un cas récent d'utilisation de ce type de géotextiles et le choix réalisé.

Dans ce cas, le projet est situé dans la zone côtière de Saly, au Sénégal. Le projet a été réalisé en 2019 et l'objectif était de construire une digue afin de protéger la plage contre l'érosion.

L'enrochement était, dans une première partie, perpendiculaire à la côte et ensuite parallèle à la côte. Il est important de noter que c'est une zone avec une houle non négligeable (qui est un facteur aggravant pour l'érosion) et pourtant le mouvement des fines reste également assez conséquent. De ce fait, le choix d'un produit avec un nombre de constrictions compris entre les limites définies devient important pour le bon fonctionnement du filtre.

La figure 7 montre une coupe de la solution proposée au niveau de la digue, avec le géotextile positionné entre l'enrochement et le fond.

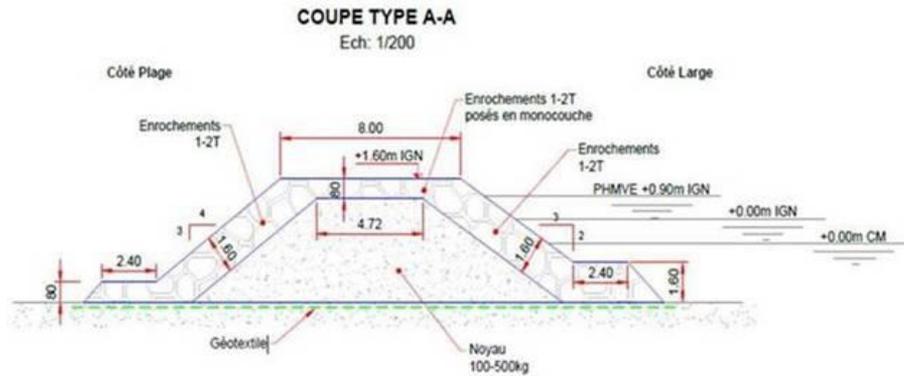


Figure 7. Coupe type de la digue

Nous pouvons voir que le filtre granulaire était posé entre la digue et le sol (sableux). On voit également que le géotextile sera également en contact avec l'enrochement. Même si le géotextile doit résister au poinçonnement pendant sa durée de vie, il est critique aussi de s'assurer que le géotextile pourra résister à d'éventuels endommagements pendant la mise en œuvre.

Dans ce cas, les conditions de mise en œuvre étaient les suivantes :

- noyau avec éléments de 100 à 500 kg placés avec un excavateur. 2m de profondeur ;
- éléments extérieurs d'enrochement d'environ 1 tonne (avec quelques enrochements atteignant j2 tonnes où la hauteur de chute serait réduite) ;
- pose sur sol sablonneux.

Le cas plus défavorable pour la mise en œuvre est celui des éléments d'enrochement de 1 à 2 tonnes, qui auront un impact assez fort dans le géotextile. Dans le cas où le sol est sablonneux, l'impact est légèrement amorti. Dans les cas où le sol est plus dur, le géotextile doit pouvoir absorber tout l'impact en ayant des performances mécaniques supérieures.

L'élongation reste aussi un paramètre très important. Dans la mise en œuvre des enrochements, cette élongation peut dépasser 50% et on a besoin d'un géotextile qui puisse s'allonger d'au moins 50% avant de se déchirer.

Le guide de dimensionnement de la Figure 8 distingue les paramètres fonctionnels nécessaires du géotextile et les paramètres de mise en œuvre.

Même si le géotextile est soumis à des contraintes mécaniques assez sévères pendant sa durée de vie, les contraintes pendant la mise en œuvre seront beaucoup plus importantes et ce sont celles-ci qui vont nous permettre de déterminer quelles sont les performances mécaniques que nous devons exiger du filtre géotextile.

Paramètres dimensionnement				Caractéristiques minimales du géotextiles							
Sol à filtrer		Enrochement		Fonctionnelles à court terme				Mise en oeuvre			
Classe GTR	Description	Masse	Hauteur de chute	Ouverture de filtration $O_{90,w}$ en μm	Perméabilité VH_{50} en m/s	Nombre de constrictions (-)	Souplesse e/B en mm (ϕ : 300 mm σ : 60 kPa)	Allongement (SP&ST) en %	Energie Absorbable E en J/m	Poinçonnement statique en kN	Perforation dynamique ϕ trou en mm
				NF EN ISO 12956	NF EN ISO 11058	XPG 38030	NFG 38021.2	NF EN ISO 10319	NF EN ISO 10319	NF G 38019	NF EN ISO 13433
A	Sols fins argile, silt, sable avec $d_{100} < 50 \mu m$	< 200 kg	≤ 2 m	≤ 80	≥ 10	25 à 40	$\geq 0,5$	≥ 25	≥ 12	≥ 2	≤ 11
		< 500 kg	≤ 2 m	≤ 80	≥ 10	25 à 40	$\geq 0,4$	≥ 50	≥ 13	≥ 3	≤ 9
		< 1000 kg	≤ 2 m	≤ 80	≥ 10	25 à 40	$\geq 0,3$	≥ 50	≥ 14	≥ 4	≤ 7
B	Sable et gravier avec fines et $d_{100} < 50 \mu m$	< 200 kg	≤ 1 m	≤ 80	≥ 20	25 à 40	$\geq 0,5$	≥ 25	≥ 13	≥ 3	≤ 9
		< 500 kg	≤ 1 m	≤ 80	≥ 20	25 à 40	$\geq 0,4$	≥ 50	≥ 14	≥ 4	≤ 7
		< 1000 kg	$\leq 0,5$ m	≤ 80	≥ 20	25 à 40	$\geq 0,3$	≥ 50	≥ 14	≥ 4	≤ 7
C	Sols fins contenant des gros éléments $d_{70} < 50 \mu m$	< 200 kg	≤ 2 m	≤ 80	≥ 10	25 à 40	$\geq 0,5$	≥ 25	≥ 14	≥ 4	≤ 7
		< 500 kg	$\leq 0,5$ m	≤ 80	≥ 10	25 à 40	$\geq 0,4$	≥ 50	≥ 14	≥ 4	≤ 7
		< 1000 kg	$\leq 0,3$ m	≤ 80	≥ 10	25 à 40	$\geq 0,3$	≥ 50	≥ 14	≥ 4	≤ 7
D	Sable de granulométrie uniforme	< 200 kg	≤ 2 m	≤ 120	≥ 30	25 à 40	$\geq 0,5$	≥ 60	≥ 12	≥ 2	≤ 11
		< 500 kg	≤ 2 m	≤ 120	≥ 30	25 à 40	$\geq 0,4$	≥ 70	≥ 13	≥ 3	≤ 9
		< 1000 kg	≤ 2 m	≤ 120	≥ 30	25 à 40	$\geq 0,3$	≥ 70	≥ 14	≥ 4	≤ 7

Figure 8: Guide de dimensionnement

Les images suivantes (figures 9 et 10) montrent l'ouvrage fini et le géotextile en cours d'installation, ce qui permet de comprendre les contraintes pendant l'installation.

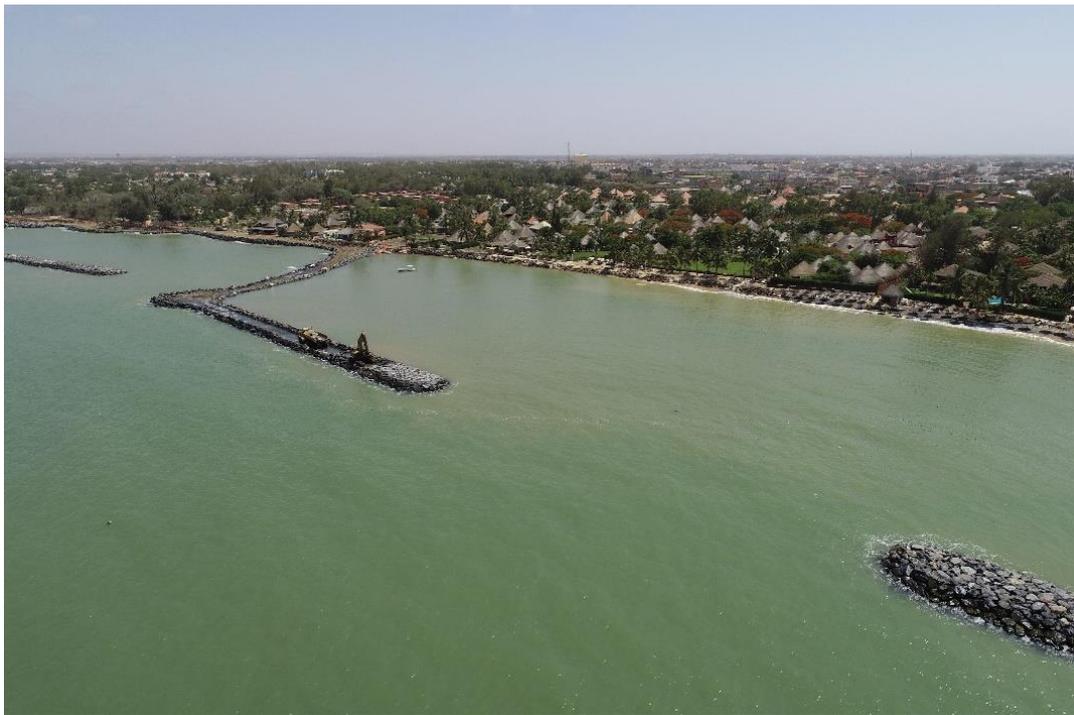


Figure 9. Ouvrage terminé



Figure 10. Installation

3. Conclusions

Après plus de 20 ans de retour d'expériences sur divers ouvrages, nous pouvons voir comment les solutions de filtre géotextile continuent à se développer. L'utilisation de filtres géotextiles dans de nouveaux cas exigeants comme celui de Saly nous permettent de pousser les limites de l'industrie afin de produire des géotextiles suffisamment résistants pour éviter leur endommagement, tout en garantissant une ouverture de filtration homogène pour éviter la déstabilisation du squelette du sol. En règle générale, si l'on souhaite augmenter la résistance mécanique d'un géotextile non-tissé, on est obligé d'augmenter son épaisseur (et grammage), ce qui va contre l'homogénéité des valeurs d'ouverture de filtration. C'est pour cette raison qu'il a fallu développer des gammes de produit avec des paramètres qui permettent de garantir les deux exigences principales (hydrauliques et mécaniques).

Habituellement, lorsqu'on utilise des géotextiles non-tissés de forte résistance mécanique au poinçonnement, on est dans le cadre d'ouvrages d'étanchéité avec géomembrane. Dans ce cas, les valeurs hydrauliques n'ont pas la même importance : le géotextile ne devrait jamais assurer une perméabilité et son colmatage n'apporte pas de risque. C'est pour cette raison, que le développement des produits géotextiles non-tissés prend une voie différente des exigences habituelles sur ce type de produits de haut grammage pour applications de filtration.

Nous pouvons donc retenir que pour les applications de filtration, les géotextiles doivent apporter les garanties sur les deux fonctions (hydraulique et mécanique) qui peuvent être traitées par une solution de géotextile bicouche :

- une couche fonctionnelle avec ouverture de filtration homogène ($40 \leq O_{100} \leq 80$) et nombre de constriction optimal ($25 \leq m \leq 40$).
- une couche de protection, ajustable aux conditions sur site, qui augmente les propriétés mécaniques du géotextile pour protéger la couche fonctionnelle des endommagements.

4. Références bibliographiques

Caquel F., Claire J., Faure Y.H., Olivier F. (1999). Behaviour of filtration geotextiles subjected to falling blocks. Comportement des géotextiles de filtration soumis à des chutes de blocs. In H. Girard & J.P. Gourc (eds); Proc. of 4th French Conf. Rencontres Géosynthétiques, Bordeaux, October 1999, Vol. 2: 279-286. In French and in English

- Delmas Ph., Artières O., Schörghenhuber H., Lugmayr R. (2000). Development of a new geotextile filtration system. Conférence Geofilters 2000. Filters in Drainage in Geotechnical and Environmental Engineering. Warsaw – Poland – 5 – 7 June 2000.
- Giroud J.P., Gourc J.P., Bally P., Delmas P. (1977). Comportement d'un textile non tissé dans un barrage en terre. Proceedings of the International Conference on the Use of Fabrics in Geotechnics, Paris, 20-22 April 1977: 213-218. Paris. Amicale Anciens Élèves de l'E.N.P.C.
- Giroud J.P. (1996). Granular filters and geotextile filters. In J. Lafleur & A.L. Rollin (eds), Proc. of Geofilter96, Montréal, May 1996: 565-680. Richmond: Bitech Publishers.
- Giroud J.P., Delmas P., Artières O. (1998). Theoretical basis for the development of a two-layer geotextile filter. In R.K. Rowe (ed), Proceedings of the Sixth International Conference on Geosynthetics, Atlanta, 25-29 March 1998: 1037-1044. Roseville: IFAI.
- Mannsbart G., Christopher B.R. (1997). Long-term performance of nonwoven geotextile filters in five coastal and bank protection projects. Geotextiles and Geomembranes, 15:207-221.