



HAL
open science

Capacité de rétention de particules argileuses d'un géotextile à fibres de lin

Bouamama Abbar, Abdellah Alem, Anne Pantet

► **To cite this version:**

Bouamama Abbar, Abdellah Alem, Anne Pantet. Capacité de rétention de particules argileuses d'un géotextile à fibres de lin. Rencontres Universitaires de Génie Civil, May 2015, Bayonne, France. hal-01167658

HAL Id: hal-01167658

<https://hal.science/hal-01167658>

Submitted on 24 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Capacité de rétention de particules argileuses d'un géotextile à fibres de lin

Abbar¹, B., Alem¹, A., Pantet¹, A

¹ LOMC, UMR 6294 CNRS-Université du Havre, 53 rue de Prony, BP 540, 76058 Le Havre Cedex.

E-mail: bouamama.abbar@etu.univ-lehavre.fr

RÉSUMÉ. Une étude expérimentale a été réalisée au laboratoire pour étudier l'efficacité d'un dispositif constitué de sable et géotextile à fibres de lin à retenir des particules fines. Les expériences consistaient à injecter en continue des particules argileuses en suspension (Kaolinite P300) dans une colonne remplie de sable saturé avec et sans géotextiles. Les suspensions de concentrations de 1 g/L ont été injectées à une vitesse d'écoulement constante et un volume équivalent à 30 volumes de pores. Les résultats montrent que le géotextile à fibres de lin améliore la capture des particules en suspension. L'analyse granulométrique des effluents montre que la taille des particules restituées diminue avec la présence du géotextile.

ABSTRACT. In this study, filtration experiments were performed in the laboratory on columns filled with sand with and without geotextile composed of flax fibers. The suspended particles were injected at constant flow velocity. This study show that the geotextile composed of flax fiber can trap suspended particles and reduce their restitution to the outlet of the column. Particle size analysis of the effluent shows that the particle size and the median diameter of the restituted particles reduced with the presence of the geotextile.

MOTS-CLÉS : Techniques alternatives, eaux pluviales, infiltration, filtration, fibres de lin.

KEY WORDS: Alternative techniques, runoff, infiltration, filtration, flax fibers.

1. Introduction

Le territoire de la Communauté de l'Agglomération Havraise (CODAH) a été régulièrement confronté à des phénomènes d'inondations et de ruissellement entraînant des dommages conséquents. Un plan de gestion des eaux pluviales à l'échelle du bassin versant a été mis en place depuis 2006 avec notamment la construction d'une station d'épuration (STEP) moderne de grande capacité. Pour réduire les flux de pointe dans la STEP, des bassins de rétention et d'infiltration, ainsi que des noues, ont été installées, notamment dans la partie haute de la CODAH.

Selon divers retours d'expériences [LEG 92], [COL 97] et [KAR 11], l'accumulation des particules éventuellement polluées dans le corps de ces structures provoque un phénomène de colmatage qui diminue leur capacité de stockage et nécessite des travaux d'entretien importants, voire impossibles. Nombreuses études [CHO 97], [PIT 05] et [WON 06] ont montré, que les principaux polluants associés avec le ruissellement comme les métaux lourds (Pb, Cu, Zn,... etc.), les hydrocarbures totaux (HCT) et Hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP) se lient avec les particules fines de sédiments. Pour réaliser des ouvrages d'infiltration, l'usage de géotextiles, généralement synthétiques, est recommandé pour séparer les différents géomatériaux. Ils sont largement utilisés en raison de leurs caractéristiques mécaniques et hydrauliques (fortes perméabilité et porosité), et de leur pérennité. Toutefois, ils peuvent être difficiles à extraire une fois installés [HOG 87]. Ils facilitent le drainage et l'infiltration des eaux pluviales, mais leur capacité épuratrice est moins bien connue et a fait l'objet de peu d'études [LAS 02].

L'étude, en partenariat avec la CODAH, a pour objectif de tester en vraie grandeur, au niveau d'un système de collecte placé à l'amont d'une noue et d'un bassin, un dispositif de filtration simple afin de garantir le bon fonctionnement de ces ouvrages de stockage et de réduire leur entretien. Il s'agit d'une tranchée aux dimensions réduites, qui est remplie de matériaux granulaires enveloppés dans des géotextiles à base de fibres de lin. Le dispositif est facile à extraire et à remplacer. Il permettra de récupérer, par rétention, l'essentiel des particules transportées par les eaux de ruissellement et de qualifier les capacités épuratrices de cette fibre naturelle. Les matériaux pourront être traités et le géotextile pollué détruit. Le choix du lin est lié à des orientations économiques, car la région normande, forte productrice de lin, développe leur utilisation dans de nombreuses applications industrielles et notamment dans le secteur du BTP.

Le présent article présente les premiers résultats d'essais de filtration menés au laboratoire en utilisant une colonne remplie de matériau granulaire avec et sans géotextiles en injectant une suspension faiblement chargée de particules argileuses.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériaux utilisés

Le milieu poreux est constitué de sable d'une granulométrie entre 630-4000 μm et un diamètre médian $d_{50} = 1890 \mu\text{m}$. Le sable est sélectionné afin d'être conforme aux caractéristiques exigées par le DTU¹ 64.1. La porosité du milieu est de 38 % et sa perméabilité de $5,06 \times 10^{-3} \text{ m/s}$. Avant son utilisation, le sable a été lavé avec une solution d'acide nitrique pour éliminer les matières organiques puis avec une solution basique de NaOH pour enlever les particules fines. Le sable est ensuite séché en étuve pendant 48h à 105°C. La figure 1 présente la courbe granulométrique du sable utilisé.

En première approche, les particules en suspension sont utilisées pour analyser le transfert et la rétention des polluants. Rappelons que les principaux polluants, associés avec le ruissellement, comme les métaux lourds (Pb, Cu, Zn,... etc.), les hydrocarbures totaux (HCT) et Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) se lient avec les particules fines transportées. La plus grande masse de matières en suspension dans le ruissellement urbain est constituée de particules fines. 70 % à 80 % de ces de matières est constituée de particules de taille inférieure à 100 μm [CHO 97].

Dans nos essais, les particules en suspension utilisées sont des particules argileuses (kaolinite P300) de taille inférieure à 40 μm et de diamètre médian de 11,4 μm . La distribution granulométrique est donné sur la figure 1.

¹ Document technique unifié.

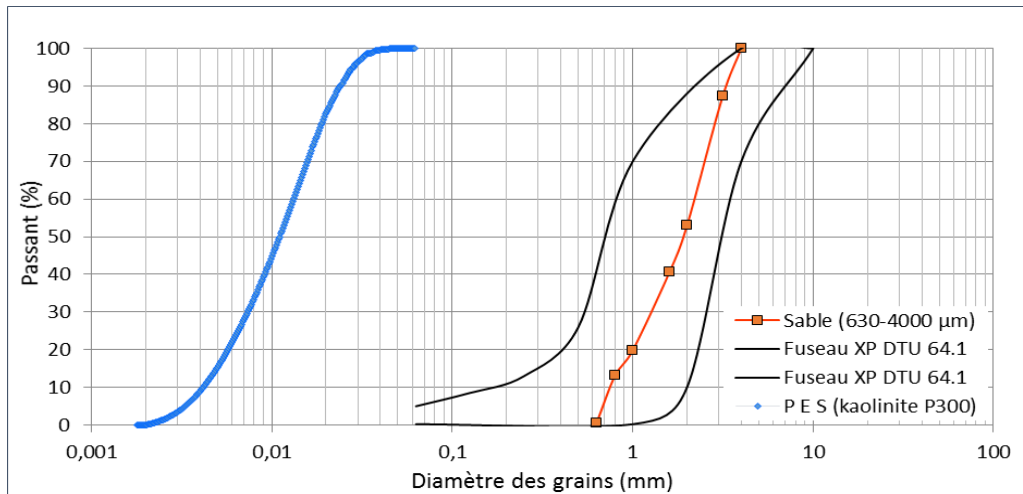


Figure 1. Courbes granulométriques du sable et des particules en suspension utilisées.

Le géotextile utilisé dans nos expériences est un tissé à base de fibres de lin développé en Normandie. Il est caractérisé par une perméabilité et une porosité importantes (Tableau 1). Avant son utilisation, le géotextile est lavé à l'eau savonneuse pour enlever les adjuvants rajoutés au cours de sa fabrication et rendre au géotextile ses caractéristiques hydrauliques intrinsèques. Des études [HEN 97] et [HOL 97] ont montrés qu'un seul lavage à l'eau pouvait suffire. La figure 2 présente le tissage régulier des mèches de lin (largeur 2 mm) du géotextile utilisé. Chaque mèche est constituée de fibres longues et lisses, d'un diamètre entre 10 et 30 µm.

Tableau 1. Paramètres du géotextile utilisé.

Paramètres	
Constitution	100% Lin
Epaisseur (mm)	1,25
Masse surfacique (g/m ²)	400
Porosité (%)	78,7
Densité (g/cm ³)	1,5
Perméabilité (m/s)	2,33E-02

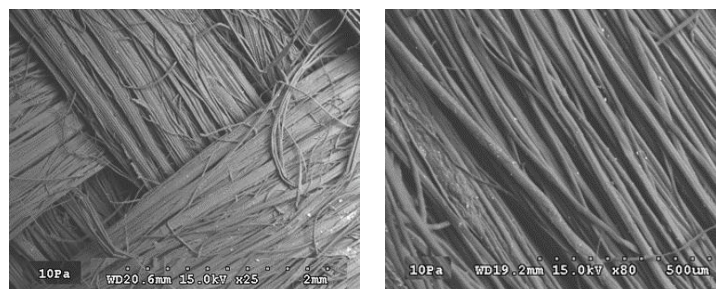


Figure 2. Vue au MEB(S-3000NN) du géotextile utilisé.

2.2. Expériences de transport

En laboratoire, l'étude du transfert des particules en suspension dans un milieu poreux se fait généralement sur des colonnes de petites dimensions. Le dispositif expérimental utilisé est composé d'une colonne en plexiglas, avec un diamètre intérieur de 4,4 cm et une longueur de 41,5 cm. Le transfert de particules est étudié dans trois configurations différentes : colonne remplie de sable seul, colonne remplie de sable avec une nappe de géotextile au milieu et colonne remplie de sable avec deux nappes de géotextile au milieu. La colonne est

équipée de 8 piézomètres pour mesurer la variation de perméabilité dans le milieu poreux pendant les essais. Deux réservoirs alimentent la colonne, un rempli d'eau et l'autre rempli de particules en suspension sous agitation permanente. Une pompe péristaltique pour fixer le débit est installée à l'entrée de la colonne. Un système de détection composé d'un turbidimètre, préalablement étalonné, est placé à la sortie de la colonne permet de mesurer la concentration de particules en suspension dans les effluents. La granulométrie des particules restituées est déterminée avec un compteur de particules (Coulter Multisizer II).

Le remplissage de la colonne se fait en position verticale et en condition humide. Le matériau granulaire est déversé dans la colonne préalablement remplie d'eau pour éviter le piégeage de bulles d'air. Les grains sont mis en place par petites quantités de volume connu, en faisant subir à la colonne de légères vibrations pour assurer une bonne compaction. Des disques de géotextile sont placés au milieu de la colonne.

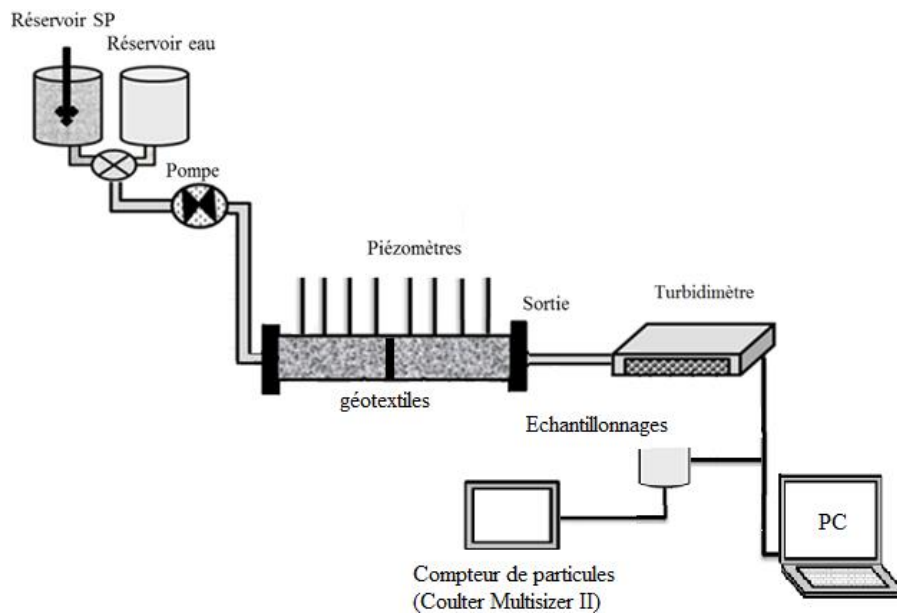


Figure 3. Schéma du dispositif expérimental.

Les expériences ont été réalisées avec une concentration de particules en suspension (PES) de 1 g/L et un débit constant de 90 cm³/min. Un volume total équivalent à 30 fois le volume de pores est injecté à chaque essai. Au cours des essais, on mesure la perméabilité du milieu poreux. Pour suivre l'évolution dans le temps des tailles des particules restituées, cinq prélèvements à différents moments de l'essai ont été effectués. L'analyse granulométrique des particules restituées est réalisée avec un compteur de particules (Coulter Mutisizer II). Le principe de cet appareil consiste à mesurer le courant électrique entre deux électrodes immergées dans un liquide conducteur de chaque côté d'une petite ouverture, par laquelle une suspension de particules est aspirée. Quand une particule traverse l'ouverture, elle change l'impédance entre les deux électrodes et produit une impulsion électrique de courte durée ayant une grandeur essentiellement proportionnelle au volume de la particule. La série d'impulsions est électriquement mesurée, comptée, et cumulée dans un certain nombre de tailles reliées à des canaux [ELK 10]. 30 ml de l'échantillon à analyser est diluée dans 70 ml de l'eau déminéralisée. La solution obtenue est mélangée à 20 ml d'une solution électrolytique de NaCl à 30 g/L.

La distribution spatiale des particules retenues dans le milieu poreux est obtenue en découpant, après essai, l'échantillon cylindrique en dix tranches réparties comme indiqué sur la figure 4. Le découpage est plus fin à l'entrée de la cellule où le dépôt est plus important. Chaque tranche de sol est récupérée, séchée et pesée. Elle est ensuite lavée dans un tamis ($d = 200 \mu\text{m}$) qui ne laisse passer que les particules fines. Le sable est ensuite séché puis pesé. La masse de particules déposée dans la tranche est égale à la différence des pesées avant et après lavage. L'eau de lavage est récupérée dans un récipient et sa concentration en particules fines est mesurée avec le turbidimètre. Par conséquent la masse de particules déposées dans chaque tranche peut être calculée avec cette technique. Les deux mesures sont comparées. La concentration en particules à la sortie de la colonne est déterminée uniquement à partir des mesures au turbidimètre. Un bilan global de masse sur toute la colonne est effectué pour chaque essai.

$$\text{Masse de PES injectées} = \text{masse de PES déposées} + \text{masse de PES restituées}$$

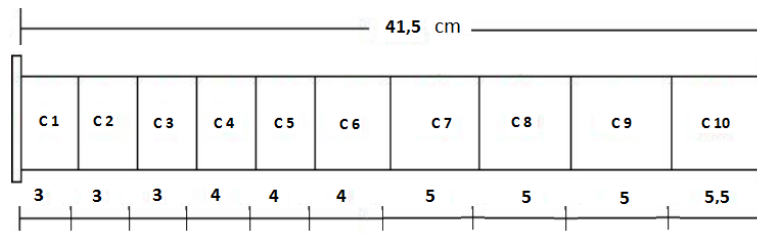


Figure 4. Principe découpage du matériau.

3. Résultats et discussion

3.1. Courbes de restitution et rétention

La figure 5.a présente un exemple de courbes de restitution obtenues pour les trois milieux étudiés. Au début de l'injection, après une phase de croissance rapide, les courbes de restitution présentent un palier jusqu'à un volume injecté critique (autour de 3 V_p). Cette allure des courbes est conforme à la réponse d'un milieu propre dans lequel la capacité de rétention est maximale. Au-delà de ce volume critique, les courbes de restitution croissent quasi linéairement avec le volume injecté. La capacité de rétention du milieu diminue avec le temps décrivant un processus dans lequel la quantité de particules transportées vers la sortie du milieu augmente. Ce processus peut se justifier par une saturation progressive des sites de rétention dans le milieu et probablement aussi par un relargage de particules déjà retenues. L'efficacité de filtration du milieu diminue dans le temps comme le confirme la figure 5b. L'efficacité de filtration du milieu est évaluée par le rapport entre la masse des PES retenues et la masse des PES injectées. Les figures 5.a et 5.b montrent que le géotextile améliore significativement non seulement l'efficacité de filtration du dispositif mais aussi sa durée de vie. La présence des géotextiles se traduit par une diminution significative de la concentration en particules en suspension à la sortie de la colonne, au début de l'injection, et une croissance avec le temps d'injection moins rapide de celle-ci (fig. 5.a). Au début de la filtration, la concentration relative C/C_0 au palier est égale à 17 % pour le sable seul et 11,5 % pour le sable avec deux nappes de géotextile. Après un volume injecté égal à 30 V_p , C/C_0 atteint une valeur de l'ordre de 38% pour le sable seul et seulement 30 % pour le sable avec deux nappes de géotextile. L'efficacité de filtration décroît plus rapidement dans le temps pour le milieu constitué de sable seul que pour les deux autres milieux. Après un volume injecté égal à 30 V_p , l'efficacité de filtration est égale à 74 % pour le sable seul et 81 % pour le sable avec deux nappes de géotextiles.

L'efficacité de filtration est légèrement améliorée avec deux nappes de géotextiles par rapport au milieu avec une seule nappe.

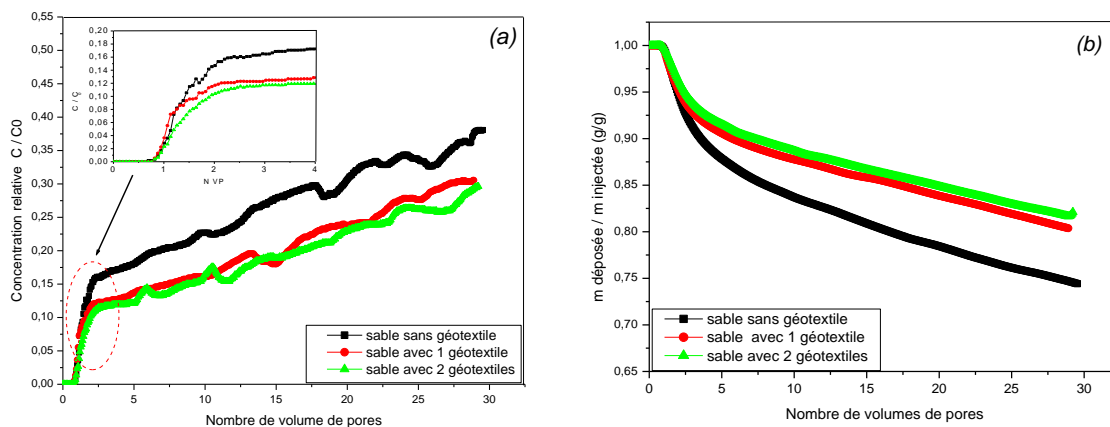


Figure 5. Courbe de restitution des particules en suspension et le rendement de chaque colonne.

La figure 6 présente les profils rétention σ mesurés dans les trois milieux testés. La rétention σ est définie comme le rapport entre la masse de particules déposées dans une épaisseur de sable et la masse de l'épaisseur de sable. La distribution du dépôt avec la profondeur dans le milieu est non uniforme. Elle est très importante sur les cinq premiers cm de l'entrée de la colonne et diminue rapidement avec la profondeur. Un pic de rétention est observé au niveau des géotextiles. Dans le milieu avec deux nappes de géotextiles, la rétention est plus forte dans la partie du sable en amont des géotextiles comparée à celle observée dans le sable seul. Par contre sur la partie située en aval, La rétention est au contraire plus forte dans le seul que dans le sable avec deux géotextiles. La

présence des deux nappes de géotextiles protège la partie de sable en aval et entraîne une plus forte contribution dans la capture des PES de la partie du sable situé en amont.

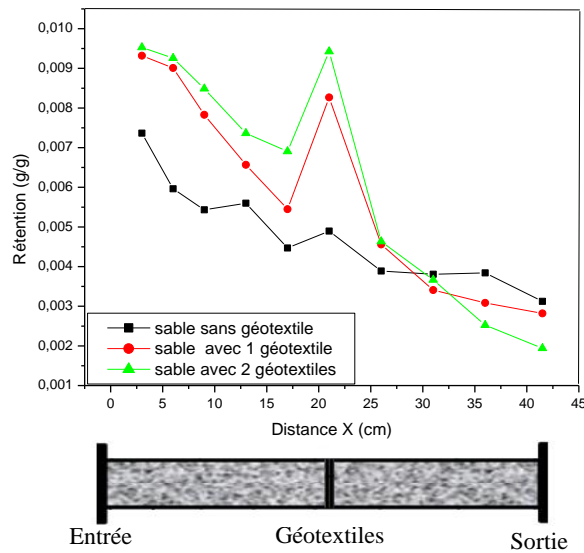


Figure 6. Profil du dépôt le long de la colonne.

3.2. Distribution granulométrique des particules restituées

Afin d'examiner l'influence de la présence de géotextiles sur l'efficacité de filtration en fonction de la taille de particules transitant dans le milieu et le temps de filtration, des analyses granulométriques des particules restituées à la sortie de la colonne sont effectuées. Pour chaque essai, cinq échantillons ont été prélevés dans l'effluent à la sortie du milieu poreux, à des intervalles réguliers pour des analyses granulométriques avec le Coulter Multisizer II. Les temps de prélèvement des échantillons T1, T2, T3, T4 et T5 correspondent, respectivement, aux volumes injectés de 1,5 Vp, 5 Vp, 10 Vp, 20 Vp et 30 Vp.

La figure 7a présente les distributions granulométriques des PES dans l'effluent au temps T1 pour les trois milieux testés. La courbe granulométrique des particules initialement injectées est aussi représentée. Les résultats montrent une sélection de particules traversant le milieu poreux. Quel que soit le milieu, la granulométrie des particules restituées reste toujours inférieure à celle des particules initialement injectées. Les distributions granulométriques des particules restituées dans les milieux sable seul et sable avec un géotextile sont très proches avec un d_{50} autour 5,1 μm . Cependant, on remarque que le milieu avec un géotextile filtre mieux les gros diamètres. Le diamètre maximal des PES restituées pour le milieu avec un géotextile est de 19 μm alors qu'il est de 25,3 μm pour le sable seul. Les tailles des PES restituées dans le cas du sable avec deux géotextiles sont nettement inférieures à celles observées pour les deux autres milieux. Le diamètre médian d_{50} des particules restituées est 3,89 μm et le diamètre maximal est 8,5 μm pour le milieu avec deux géotextiles. Ce dernier milieu filtre plus efficacement les gros diamètres. Pour les trois milieux, les grosses particules sont retenues dans le milieu poreux essentiellement par blocage mécanique et sédimentation.

Les figures 7.b et 7.c montrent une augmentation de la granulométrie des particules restituées avec le temps de filtration pour les trois milieux testés. Cependant, la granulométrie des PES restituées reste toujours très inférieure à la granulométrie des particules initialement injectées. Ce comportement a été observé par [BRA 06] et [ALE 13] dans des expériences sous un débit constant. Quel que soit le temps de filtration, la granulométrie des PES restituées dans le cas du milieu avec deux géotextiles reste toujours inférieure à celle observées dans les deux autres cas. Lorsque le volume injecté passe de 1,5 Vp à 30 Vp, le diamètre médian des particules restituées passe de 5,01 à 5,80 μm dans le cas du sable seul et de 3,89 à 5,03 μm dans le cas du sable avec deux couches de géotextiles. On remarque aussi que la filtration des grosses particules par le milieu sable avec un géotextile s'améliore avec le temps de filtration. Les diamètres médians des PES restituées après 30 Vp pour les deux milieux avec une ou deux nappes de géotextiles sont comparables.

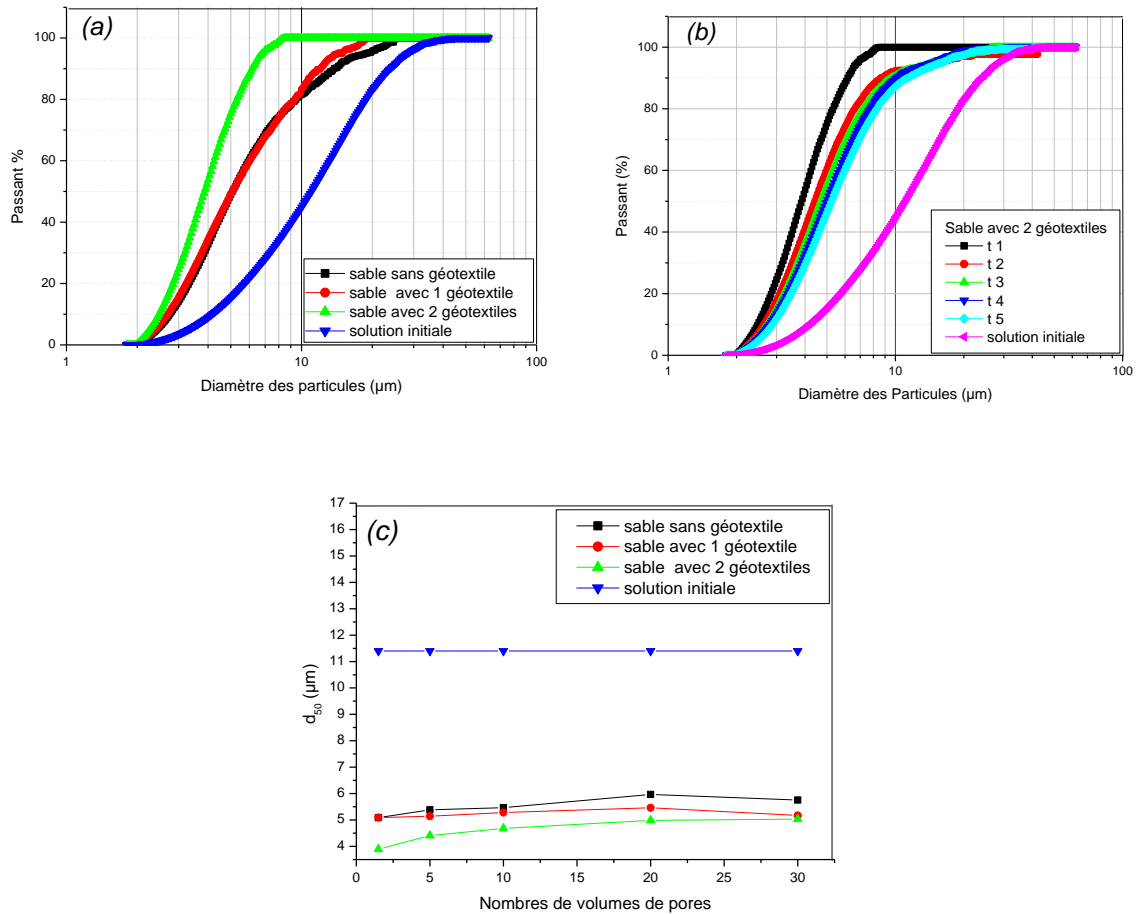


Figure 7. Suivi de la granulométrie des PES dans les effluents au cours de la restitution.

4. Conclusion

L'étude présentée visait à tester la réduction du transfert particulaire, potentiellement vecteur de pollution, par l'introduction d'un géotextile à fibres de lin dans un milieu constitué d'un sable homogène. L'étude portait sur des milieux modèles et a été réalisée sur des colonnes de laboratoire. Le transfert particulaire est simulé par une suspension de particules d'argile de concentration 1 g/L. La suspension de particules est injectée à débit constant dans le milieu poreux. Les résultats montrent que le géotextile améliore l'efficacité de filtration du dispositif sable-géotextile et apporte une modification de la distribution du dépôt dans le milieu. L'analyse granulométrique des particules restituées montre que l'efficacité de filtration du milieu sable avec deux nappes de géotextile augmente avec le diamètre des particules en suspension. Quel que soit le milieu testé, l'efficacité du milieu à retenir les particules décroît avec le temps de filtration. Cependant la décroissance est plus lente pour le milieu avec deux géotextiles.

Remerciement

Nous tenons à remercier la CODAH de leur soutien pour la réalisation de ce travail.

5. Bibliographie

[ALE 13] ALEM A., ELKAWAFI A., AHFIR IR, N.-D., WANG H.Q., Filtration of kaolinite particles in a saturated porous medium. Hydrodynamic effects. Hydrogel. J. p. 573–586, 2013

- [BRA 06] BRADFORD S. A., Transport of Giardia and Manure suspensions in saturated porous media. J. Environ. Qual, p. 749-757, 2006.
- [CHO 97] CHOCAT B., *Encyclopédie d'hydrologie urbaine*. Lavoisier, Paris, 1997.
- [COL 97] COLANDINI V., Effets des structures réservoirs à revêtement poreux sur les eaux pluviales : qualité des eaux et devenir des métaux lourds, Thèse de doctorat, Université de Pau, 1997.
- [ELK 10] ELKAWAFI M., Étude Colmatage d'un milieu poreux saturé soumis à un écoulement chargé de particules, Thèse de doctorat, Université Le Havre, 2010.
- [HEN; HOL 97] HENERY K.S., HOLTZ R.D., « Capillary rise of water in geotextiles », In: Knutsson S. ED Ground Freezing 97: Proceeding of the international symposium on ground freezing and frost action in soils, April 1997, Lulea (Sweden). Rotterdam, A.A Balkema, p. 277-233, 1997.
- [KAR 11] KARA M., Étude d'un dispositif de dépollution des eaux pluviales en amont des réseaux d'assainissement : Expérimentation et modélisation, Thèse de doctorat, Université Lille 1, 2011.
- [LAS 02] LASSABATERE L., Effets Modification du Transfer de trois métaux lourds (Zn, Pb, et Cd) dans un sol issu d'un dépôt fluvio-glaciaire carbonate par l'introduction de géotextiles, Thèse de doctorat, INSA de Lyon et Université de Laval, 2002.
- [LEG ; DEM 91] LEGRET M., DEMARE D., Etude de la pollution par les métaux lourds sur un site d'infiltration des eaux pluviales, rapport interne L.C.P.C (Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées) 20 Pages, 1991.
- [PIT 05] PITTI R., WILLIAMSON D., VOORHEES J., Au Review of historical street dust and dirt accumulation and washoff data. Effective modeling of urban systems, Monograph 13, W. James, Irvine, McBean et Pitt (eds), CHI, Guelph, Ontario, 2005.
- [WON 06] WONG T. H. F., Australia Runoff Quality, A Guide to Water sensitive urban design. Engineers Australia, Melbourne, 2006.
- [HOG 87] HOGLAND W., NIEMCZYWICZ J., WAHLMAN T., The unit superstructure during the construction periode. The Science of Total Environment. p. 235-250