

MESURE DU FLUX DANS LES GÉOFILMS BENTONITIQUES

FLOW RATE MEASUREMENT IN MULTICOMPONENT GEOSYNTHETIC CLAY LINERS

Camille BARRAL¹, Nathalie TOUZE-FOLTZ², Didier CROISSANT², Kent von MAUBEUGE³

¹ Irstea/Cnam, Antony, France

² Irstea, Antony, France

³ Naue GmbH & Co. KG, Espelkamp-Fiestel, Germany

RÉSUMÉ – Une procédure a été développée afin de mesurer le flux au travers des géofilms bentonitiques combinant des appareils de mesure de la norme EN 14150 pour la mesure du débit au travers des géomembranes et la cellule de test de la norme NF P 84-705 permettant la détermination du flux dans les géosynthétiques bentonitiques. Trois géofilms bentonitiques ont été testés afin de déterminer la capacité de l'équipement à quantifier le flux au travers ces matériaux. Après une phase d'hydratation la mesure de flux est effectuée en appliquant une pression différentielle de 100 kPa entre les deux faces de l'éprouvette. Les résultats montrent que les flux obtenus ($\sim 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{j}$) sont un ordre de grandeur plus grands que ceux généralement mesurés pour les géomembranes vierges.

Mots-clés: géosynthétiques, géomembranes, géofilms bentonitiques.

ABSTRACT – A procedure was developed, combining measuring devices from EN 14150 for flow rate measurement through geomembranes and a rigid wall permeameter from NF P84-705, aiming at measuring the flow rates through GCLs, in order to measure flow rates through multicomponent GCLs. Three different multicomponent GCLs were tested in order to determine the ability of the testing equipment to quantify the flow rate through multicomponent GCLs. The flow rate measurement was performed after a hydration phase; the pressure difference applied on both sides of the multicomponent GCL specimens is equal to 100kPa. Results obtained tend to show that flow rates are one order of magnitude larger than the ones measured for virgin geomembranes, i.e. $10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$.

Keywords: geosynthetics, geomembrane, multicomponent geosynthetic clay liner, flow rate.

1. Introduction

Les géomembranes (GMB) et géosynthétiques bentonitiques (GSB) sont couramment utilisés en génie civil afin de remplir la fonction étanchéité au sein des installations de stockage de déchets (ISD), ainsi que dans les digues, barrages et bassins.

Dans les Descriptions recommandées des Géosynthétiques, Fonctions, Terminologie des Géosynthétiques, Symboles Mathématiques et Graphiques de la Société Internationale des Géosynthétiques (IGS), les géomembranes sont définies comme des feuilles planes à base de polymère (synthétique ou naturel) relativement imperméables utilisées en génie civil ; les géosynthétiques bentonitiques sont quant à eux définis comme un assemblage de géosynthétiques et de matériaux naturels de faible conductivité hydraulique (argile ou bentonite), sous la forme d'une nappe manufacturée utilisé en génie civil.

La norme EN ISO 10318 définit les barrières géosynthétiques qui peuvent être polymériques, argileuses ou bitumineuses selon le composant qui remplit la fonction étanchéité. Dans le cas des barrières géosynthétiques argileuses (GBR-C) (plus communément appelées géosynthétiques bentonitiques) la définition spécifie que la fonction de barrière est essentiellement assurée par de l'argile.

Récemment les géofilms bentonitiques ont été introduits sur le marché sans qu'il y ait actuellement de test adapté pour permettre la caractérisation de ces produits, notamment leur comportement vis-à-vis des transferts. La définition des géofilms est encore en discussion au sein du groupe de travail ASTM D35 et sera ajoutée à la future norme D4439 (von Maubeuge et al., 2011). Un géofilm bentonitique est un GSB auquel est ajouté un film, un enduit ou une géomembrane entraînant une baisse de la conductivité hydraulique ou protégeant l'argile au sein du GSB ou les deux. Le film peut être collé au GSB; l'enduit est une substance synthétique qui est appliquée à la surface du GSB sous la forme d'un fluide et qui va ensuite se solidifier (von Maubeuge et al., 2011).

Dans le cas de ces géofilms bentonitiques on peut alors se demander si la fonction étanchéité est toujours assurée par l'argile au sein du GSB ou par le film ou l'enduit attaché au produit ?

Cet article présente une méthode développée pour quantifier les transferts au travers des géofilms bentonitiques. La procédure de test combine les appareillages présentés dans les normes NF EN 14150 pour la détermination du flux au travers des GMB et NF P84-705 pour la détermination des caractéristiques de flux et de perméabilité des GSB avec un œdopermèamètre. Dans la suite de cet article les mécanismes de transports et les méthodes utilisées dans les deux normes seront rappelés ainsi que les valeurs de flux et de perméabilité généralement admises pour ces deux géosynthétiques. Puis l'appareillage et la procédure de test permettant la mesure du flux au travers des géofilms bentonitiques seront détaillés. Dans une dernière partie les résultats obtenus pour trois géofilms bentonitiques seront présentés.

2. Quantification des transferts au travers des matériaux d'étanchéité

2.1 Mesure du flux au travers des géomembranes

Les géomembranes sont des milieux non poreux. Cela signifie qu'il n'y a pas de vides dans le matériau mais seulement des espaces libres de la taille des molécules de solvants. Le transport dans les géomembranes se déroule donc à l'échelle moléculaire (Lambert et Touze-Foltz, 2000). Cependant les gaz et liquides peuvent migrer au travers des géomembranes intactes grâce au processus de diffusion, différent du processus de transport advectif qui se déroule au travers des pores d'un milieu poreux (Barroso, 2005). Différentes forces peuvent engendrer un phénomène diffusif : un gradient de concentration, hydraulique ou de température. Il a également été montré que de la diffusion peut avoir lieu même s'il n'y a pas de gradient : ce phénomène est appelé auto-diffusion (Eloy-Giorni, 1993).

Un appareillage a été développé en France afin de quantifier les flux au travers des GMB en lien avec l'application d'un gradient hydraulique (Eloy-Giorni, 1993 ; Pelte, 1993 ; Durin et al., 1998 ; Lambert et Touze-Foltz, 2000). Cet appareillage décrit dans la norme NF EN 14150 (Figure 1) est composé d'une cellule en acier inoxydable constituée de deux chambres ayant un diamètre intérieur de 0,2 m chacune et permettant l'application d'une pression hydraulique sur chacune des faces de la GMB. Un disque poreux placé dans la chambre aval empêche la GMB de se déformer. La chambre amont est équipée d'une vanne d'entrée alors que la chambre aval dispose d'une vanne de sortie ; la mesure des volumes est effectuée au moyen de contrôleurs de pression-volume reliés à ces deux vannes.

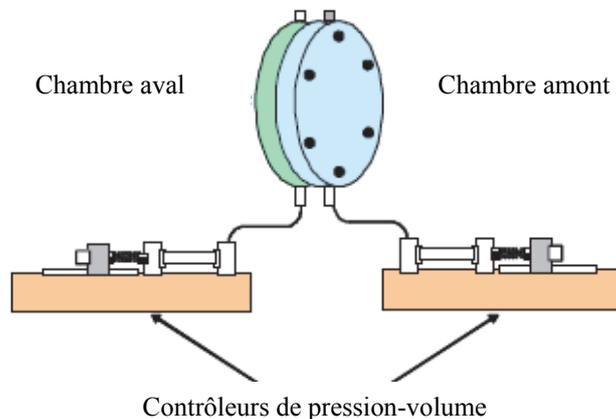
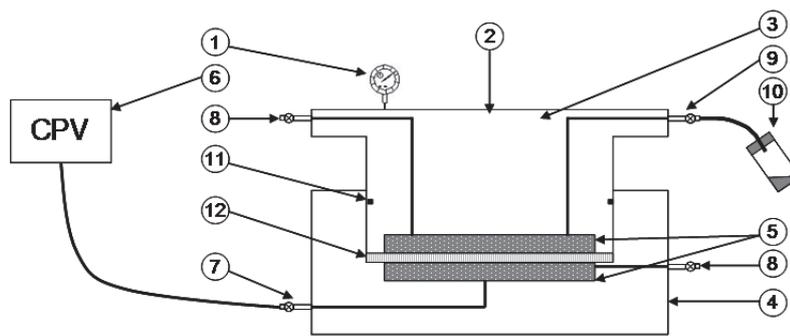


Figure1. Dispositif de test selon la norme NF EN 14150 d'après Touze-Foltz et al. (2010)

Une synthèse des valeurs de flux obtenues pour différentes GMB avec l'appareillage de type B est présentée sur la Figure 2 (Touze-Foltz et Zanzinger, 2009). On constate que la majorité des valeurs de flux obtenues pour les GMB vierges sont inférieures à $10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jour}$.



Clé

- | | |
|--|---|
| 1) Mesurage du déplacement vertical | 7) Vanne d'entrée du liquide |
| 2) Dispositif de chargement vertical | 8) Vanne de purge |
| 3) Piston | 9) Vanne de sortie des percolats |
| 4) Embase inférieure | 10) Réservoir de collecte du volume sortant |
| 5) Disques drainants et papiers filtre | 11) Joint d'étanchéité |
| 6) Contrôleur pression-volume de liquide entrant | 12) Éprouvette |

Figure 3. Schéma du perméamètre à parois rigides selon la norme NF P84-705 (AFNOR, 2008)

2.3 Mesure du flux au travers de géofilms bentonitiques

Lucas (2002) et Cleary et Lake (2011) ont étudié le flux au travers d'un géofilm bentonitique composé de bentonite sodique en granulés placée entre un géotextile tissé enduit et un géotextile non-tissé. La densité de l'enduction étant inférieure à 100 g/m^2 , celle-ci était non uniforme et non continue ; de ce fait son épaisseur était impossible à mesurer.

Lucas (2002) a mené des essais dans un perméamètre à parois flexibles selon la norme ASTM D5084 sur ce géofilm bentonitique et a trouvé des valeurs de conductivité hydraulique de l'ordre de 5.10^{-12} m/s . Mais cet auteur a signalé la présence possible de fuites latérales durant les essais.

Cleary et Lake (2011) ont conduit des essais sur le même géofilm bentonitique en utilisant trois types de perméamètres. Tous les résultats excepté ceux obtenus avec un perméamètre à parois rigides étaient inférieurs à 1.10^{-11} m/s . La valeur de la conductivité hydraulique a été estimée entre $3,1.10^{-12} \text{ m/s}$ et $9,2.10^{-12} \text{ m/s}$ montrant clairement que pour ce géofilm bentonitique l'étanchéité était assurée par l'argile au sein du GSB.

Mais tous les dispositifs de tests ne permettent pas de mesurer les flux dans le cas de géofilms bentonitiques présentant une enduction continue ou comportant un film. En effet dans ces deux cas ce n'est pas l'argile contenue dans le GSB mais la partie polymérique qui assure l'étanchéité. Ces produits présentant le même comportement que les GMB, l'essai de mesure du flux au travers des GMB a donc été adapté afin de tester les géofilms bentonitiques. L'équipement développé pour cette mesure est présenté dans la suite de cet article.

3. Matériaux et méthode d'essai

3.1 Dispositif expérimental

La cellule de test issue de la norme NF P84-705 est utilisée en combinaison avec les dispositifs de mesures utilisés dans la norme NF EN 14150. En effet, la cellule œdoperméamétrique à parois rigides remplace donc la cellule de test de la norme NF EN 14150 car celle-ci n'est pas conçue pour tester les GSB ; en revanche les contrôleurs de pression-volume utilisés dans la norme NF EN 14150 permettent de mesurer des flux faibles passant au travers des géofilms bentonitiques, ce que ne permettent pas les dispositifs de mesures de la norme NF P84-705. La figure 4 donne un aperçu de cette combinaison.



Figure 4. Dispositif expérimental permettant la mesure du flux au travers des géofilms bentonitiques.

3.2 Procédure d'essai

Le dispositif expérimental est installé dans un laboratoire où la température est contrôlée ($23 \pm 1^\circ\text{C}$). La première partie des essais consiste à hydrater les éprouvettes de géofilms bentonitiques dans les œdoperméamètres à parois rigides selon la procédure indiquée dans la norme NF P84-705. Les éprouvettes sont hydratées par la face opposée au film ou au géotextile enduit par une solution 10^{-3} M NaCl, sous une charge hydraulique de 0,01 m et sous une contrainte de 10 kPa. Lorsque le gonflement de l'éprouvette atteint 90% du gonflement pour un temps infini, la contrainte de confinement et la charge hydraulique sont augmentées.

Deux contrôleurs de pression-volume sont alors connectés aux deux chambres situées de part et d'autre d'une éprouvette et une différence de pression croissante est appliquée entre les deux faces de l'éprouvette jusqu'à atteindre 100 kPa (150 kPa dans la chambre amont et 50 kPa dans la chambre aval comme indiqué dans la norme NF EN 14150). La contrainte de confinement appliquée sur le géofilm bentonitique est de 170 kPa. Une fois l'équilibre atteint pendant plus de sept jours consécutifs (valeurs de flux stables), la différence de pression entre les chambres amont et aval est diminuée à 50 kPa (pressions égales respectivement à 150 kPa et 100 kPa) puis à 25 kPa pour évaluer dans un cas l'effet de la différence de pression sur le flux (pressions égales respectivement à 150 kPa et 125 kPa).

3.3 Géofilms bentonitiques testés

Trois géofilms bentonitiques ont été testés avec la procédure précédemment présentée. Les caractéristiques de ces trois géofilms sont présentées dans le Tableau 1. Chaque épaisseur de film ou d'enduction a été mesurée en utilisant un pied presseur comme indiqué dans la norme NF P84-512-1. Le géofilm bentonitique 1 est enduit de polyoléfine avec une masse surfacique d'enduction supérieure à 200 g/m^2 d'après la fiche technique fournie par le producteur. Les géofilms bentonitiques 2 et 3 comportent chacun un film collé d'épaisseur mesurée égale à 0,25 mm.

Tableau 1. Caractéristiques des trois géoflms bentonitiques testés.

Géofilm bentonitique	Type de bentonite	GTX supérieur	GTX inférieur	Mode de liaison du film	Épaisseur sous 10 kPa (mm)	Épaisseur du film ou de l'enduction (mm)	Masse surfacique totale du film ou de l'enduction (kg/m ²)	Masse surfacique totale de l'échantillon (kg/m ²)
1	Sodique/Poudre	Tissé	Non-tissé	Enduit	5,2	0,4 < e _f < 0,7	0,25 < m _f < 0,4	4,58
2	Sodique/Granulés	Non-tissé	Tissé	Collé	6,6	~ 0,25	~ 0,2	5,28
3	Sodique/Granulés	Tissé	Non-tissé	Collé	5,8	~ 0,25	~ 0,2	4,41

4. Résultats

Les figures 5, 6 et 7 présentent les flux mesurés dans les chambres amont et aval obtenus respectivement pour les géoflms bentonitiques 1, 2, 3. Comme cela a déjà été observé lors des essais sur les GMB selon la norme NF EN 14150, les flux amont et aval ne sont pas égaux et leur différence est même parfois conséquente (Lambert et Touze-Foltz, 2000 ; Touze-Foltz et Zanzinger, 2009). En effet lorsque la pression augmente dans une des deux chambres, le volume amont varie plus significativement que le volume aval avant de se stabiliser. Ces variations peuvent être attribuées à l'effet de la bentonite qui est située dans le géofilm bentonitique du côté de la chambre amont et qui peut absorber des petites quantités d'eau pour finaliser sa saturation.

Les flux moyens aval obtenus lors des sept derniers jours de test pour les géoflms bentonitiques 1, 2, 3 sont d'environ 10⁻⁵ m³/m²/jour (Tableau 2). Cette valeur de flux est un ordre de grandeur plus élevée que le flux obtenu pour la plupart des GMB vierges (<10⁻⁶ m³/m²/jour) ; mais cette valeur est également plus faible que le flux obtenu pour un GSB de 0,01 m d'épaisseur ayant une conductivité hydraulique égale à 10⁻¹¹ m/s, qui est d'environ 10⁻³ m³/m²/jour. Le flux au travers des géoflms bentonitiques se rapproche donc plus des valeurs de flux obtenues au travers des GMB que des flux dans les GSB, ce qui tend à montrer que le flux au travers de ces géoflms bentonitiques est contrôlé par le film ou l'enduction et non par la bentonite.

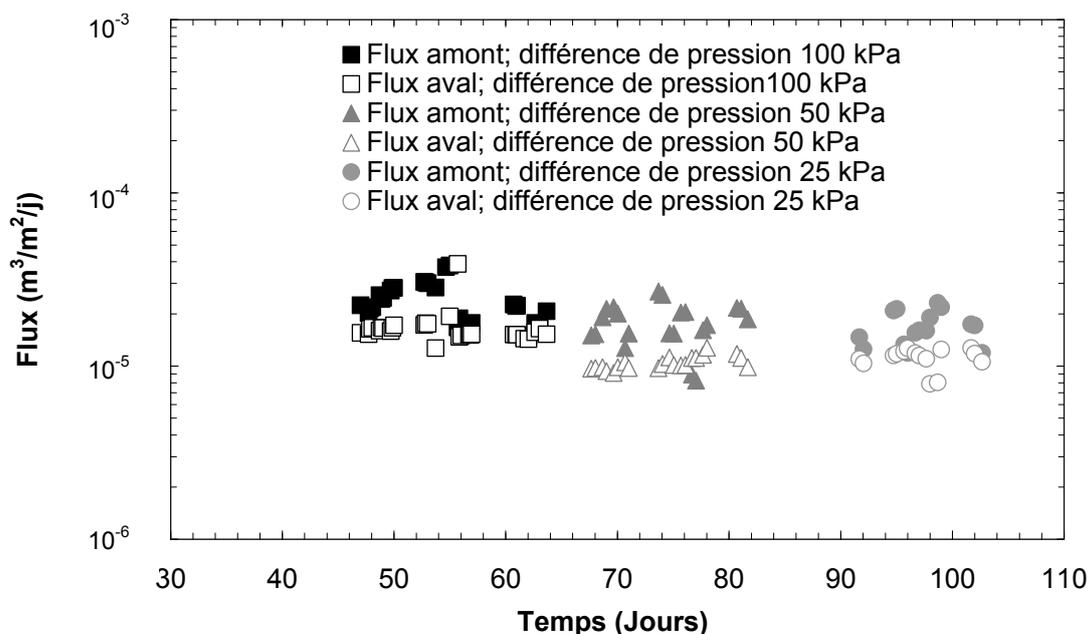


Figure 5. Flux amont et aval obtenus au travers du géofilm bentonitique 1.

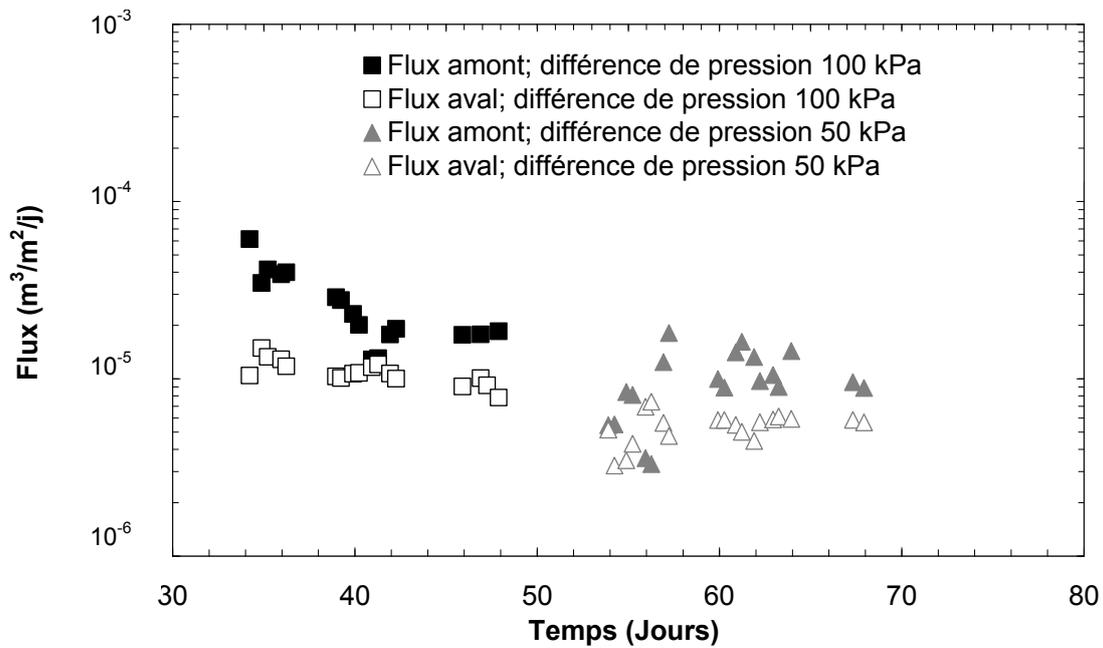


Figure 6. Flux amont et aval obtenus au travers du géofilm bentonitique 2.

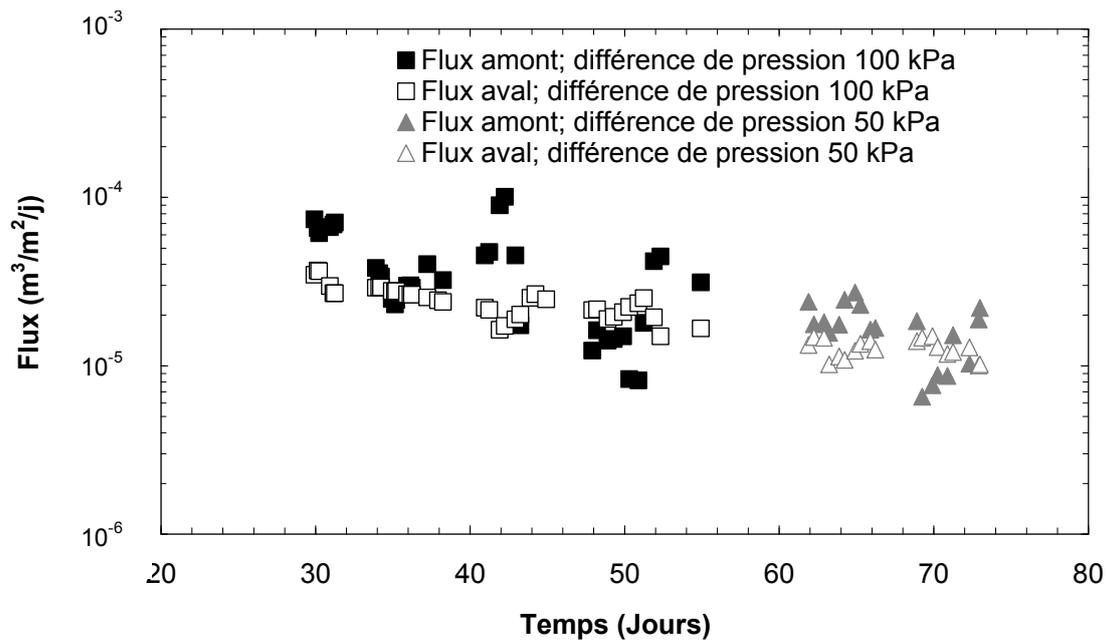


Figure 7. Flux amont et aval obtenus au travers du géofilm bentonitique 3.

De plus, on constate sur les figures 5, 6, et 7 que, lorsque la différence de pression entre les deux faces des éprouvettes varie entre 100 kPa et 25 kPa, les valeurs de flux obtenues restent identiques. Les géoflms bentonitiques munis d'un film plus épais que 0,2 mm ou d'une enduction supérieure à 200 g/m² ne se comportent donc pas comme des matériaux poreux mais tendent à se comporter comme des GMB. Les différences dans les valeurs de flux observées entre les trois géoflms bentonitiques testés et les GMB peuvent s'expliquer par la différence d'épaisseur entre ces matériaux (1 mm d'épaisseur au minimum pour les GMB et entre 0,2 et 0,7 mm d'épaisseur pour les films ou enductions).

Tableau 2. Moyenne des flux avals obtenus au travers des géofilms bentonitiques 1,2 et 3 lors des 7 derniers jours de test sous une différence de pression de 100 kPa.

Géofilm bentonitique	Flux (7 derniers jours de test) ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jour}$)
1	$1,51 \times 10^{-5}$
2	$9,42 \times 10^{-6}$
3	$1,89 \times 10^{-5}$

5. Conclusion

L'objectif de cet article était de présenter une méthode de quantification des flux au travers des géofilms bentonitiques au moyen d'une procédure spéciale adaptée de deux normes existantes; la norme NF EN 14150 et la norme NF P84-705, utilisées pour déterminer les flux au travers des GMB et des GSB respectivement. En effet, dans cette étude la cellule de test présentée dans la norme NF P84-705 a été combinée avec les appareils de mesure utilisés dans la norme NF EN 14150.

Les flux ont été mesurés pour trois géofilms bentonitiques provenant de deux producteurs différents. Les valeurs de flux obtenues pour les trois géofilms ($\sim 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jour}$) sont un ordre de grandeur plus élevées que les valeurs de flux généralement mesurées au travers des GMB vierges, mais beaucoup plus faibles que les valeurs de flux habituellement obtenues pour les GSB.

Cet essai permet donc la détermination des flux au travers des géofilms bentonitiques au moyen d'une méthode qui respecte les conditions d'utilisation des géofilms bentonitiques ainsi que les phénomènes réels auxquels ils sont soumis in situ.

6. Références bibliographiques

- AFNOR NF XP P84-512-1 (1996). Géomembranes - Dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG) — Partie 1: détermination de l'épaisseur - Cas des géomembranes lisses, AFNOR.
- AFNOR NF EN 14150 (2006). Géomembranes - Détermination de la perméabilité aux liquides, AFNOR.
- AFNOR NF EN ISO 10318 (2006). Géosynthétiques - Termes et définitions, AFNOR.
- AFNOR NF P84-705 (2008). Géosynthétiques bentonitiques - Détermination à l'oedoperméamètre des caractéristiques de gonflement, flux et perméabilité des géosynthétiques bentonitiques (GSB) - Essai de caractérisation et essai de performance, AFNOR.
- ASTM Standard D5887 (2009). Standard Test Method for Measurement of Index Flux Through Saturated Geosynthetic Clay Liner Specimens Using a Flexible Wall Permeameter, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/D5887-09.
- ASTM Standard D5084 (2010). Standard Test Methods for measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/D5084-10.
- Barroso M. (2005). Fluid Migration through Geomembrane Seams and through the Interface between Geomembrane and Geosynthetic Clay Liner. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble et de l'Université de Coimbra (Portugal), 215 pages.
- Cleary B.A., Lake C.B. (2011). Comparing measured hydraulic conductivities of a geotextile polymer coated GCL utilizing three different permeameter types. *Geo-Frontiers 2011 Advances in Geotechnical Engineering*, Han, J. (ed.), Alzamora, D.A. (ed.): 1991 – 2000.
- Durin L., Touze N., Duquennoi C. (1998). Water and organic solvents transport parameters in geomembranes. *Proceedings 4th International Conference on Geosynthetics*, Atlanta, Georgia, USA, pp. 249-256.
- Eloy-Giorni C. (1993). Etude des transferts diffusifs dans les géomembranes : mécanismes et mesures à l'aide de traceurs radioactifs. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, CEA, 174 pages.
- Guyonnet D., Gaucher E., Gaboriau H., Pons C.-H., Clinard C., Norotte V., Didier G. (2005). Geosynthetic clay liner interaction with leachate: correlation between permeability, microstructure, and surface chemistry. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol 131 (6), pp. 740–749.

- Guyonnet D., Touze-Foltz N., Norotte V., Pothier C., Didier G., Gailhanou H., Blanc P., Warmont F. (2009). Performance-based indicators for controlling geosynthetic clay liners in landfill applications. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol 27: pp. 321-331.
- Lambert S., Touze-Foltz N. (2000). A test for measuring permeability of geomembranes. *Proceedings Eurogeo 2*, Bologna, Italy.
- Lucas S.N. (2002). Manufacturing of and the performance of an integrally-formed, polypropylene coated geosynthetic clay barrier. *Proceedings of the International Symposium Clay Geosynthetic Barriers*, Nuremberg, Germany. Edited by: H. Zanzinger; R.M. Koerner; E. Gartung, pp. 227-232.
- Pelte T. (1993). Étude théorique et expérimentale de la fonction étanchéité et du comportement thermique des géomembranes. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, 253 pages.
- Touze-Foltz N., Zanzinger H. (2009). Wasserdichtheit von Kunststoffdichtungsbahnen - Erfahrungen mit der Prüfung. *Geotechnik special issue 2009*", pp. 125-132.
- Touze-Foltz N., Croissant D., Farcas F., Royet P. (2010). Quantification of oxidized bituminous geomembranes ageing through hydraulic testing. *Proceedings 9th International Conference on Geosynthetics*, Guaruja, Brazil, pp.753-756.
- Rowe R.K. (2012). Short- and long-term leakage through composite liners. *The 7th Arthur Casagrande Lecture. Canadian Geotechnical Journal*, Vol 49(2): pp. 141-169.
- von Maubeuge K.P., Sreenivas K., Pohlmann H. (2011). The new generation of geosynthetic clay liners. *Seminar Geosynthetics India' 11 and an Introductory course on Geosynthetics*, Chennai (Tamil Nadu), India, September 22-24.