

PERFORMANCE HYDRAULIQUE À LONG TERME DES GÉOMEMBRANES EN BITUME OXYDÉ EXPOSÉES ET RECOUVERTES

LONG TERM HYDRAULIC PERFORMANCE OF EXPOSED OXIDIZED BITUMINOUS GEOMEMBRANES

Nathalie TOUZE-FOLTZ¹, Didier CROISSANT², Fabienne FARCAS², Paul ROYET³

¹ Cemagref, Antony, France

² LCPC, Paris, France

³ Cemagref, Aix-en-Provence, France

RÉSUMÉ – Cet article présente les résultats d'une étude destinée à quantifier l'évolution du flux d'eau à travers des géomembranes en bitume oxydé vieilles, exposées ou recouvertes. Le flux a été mesuré avec le dispositif expérimental de la norme NF EN 14150, adaptée dans certains cas pour la mesure du flux. Des résultats variables sont obtenus en fonction de la présence ou non d'une protection sur la géomembrane et des conditions d'exposition. La recommandation issue des résultats obtenus est de recouvrir les géomembranes en bitume oxydé pour garantir une bonne performance hydraulique de ces matériaux à long terme.

Mots-clés : Géomembrane, bitume oxydé, débit de fuite, mesure, vieillissement.

ABSTRACT – This paper presents the results of a study aiming at quantifying the evolution of water flow rates through oxidized bituminous geomembranes, uncovered or covered. The flow rate was measured with the apparatus from the NF EN 14150 standard, adapted in some cases. Variable results were obtained depending on the presence or not of a protection on top of the geomembrane, and on the conditions of exposition. The recommendation arising from the results obtained is to cover oxidized bituminous geomembranes in order to ensure a good hydraulic performance of these materials on the long term.

Keywords: Geomembrane, oxidized bitumen, flow rate, ageing.

1. Introduction

Les géomembranes sont des milieux non poreux. Ceci signifie que ces matériaux ne contiennent pas de vides, mais seulement des espaces libres dont la taille est proche de celle des molécules de solvants (Lambert et Touze-Foltz, 2000). Un essai normalisé a été élaboré en France dans les années 1990 qui depuis est devenu l'essai européen décrit par la norme NF EN 14150 (AFNOR, 2006). L'objectif de cet essai normalisé est de quantifier le flux d'eau traversant les géomembranes lorsqu'elles sont soumises à une différence de charge hydraulique. Une synthèse de données récentes obtenues par deux laboratoires européens a été publiée récemment (Touze-Foltz et Zanzinger, 2009). Les résultats obtenus mettent en évidence que le flux d'eau à travers les géomembranes vierges sous une différence de pression de 100kPa est généralement inférieur à $10^{-6} \text{m}^3/\text{m}^2/\text{j}$. La question se pose alors naturellement de déterminer comment évoluent les valeurs obtenues au cours du temps, avec le vieillissement des géomembranes.

Les géomembranes bitumineuses sont utilisées dans de nombreuses applications : barrages (Breul et Eldrige, 2009), canaux, couvertures d'installations de stockage de déchets (Potié et al., 1997 ; Peggs, 2008) y compris pour les déchets faiblement et moyennement radioactifs (Ossena et al., 1997 ; Marchiol et al., 2006). Dans un certain nombre de cas de géomembranes en bitume oxydé exposées, on a observé la présence de micro-craquelures à la surface du matériau. On peut légitimement se poser la question de l'évolution de la performance hydraulique de ces matériaux au cours du temps. L'objectif de cet article est de présenter les résultats obtenus en termes de flux d'eau mesurés sur des échantillons de géomembranes en bitume oxydé provenant de 6 ouvrages hydrauliques différents, bassins et barrages. Certaines de ces géomembranes étaient protégées, d'autres non. Après avoir présenté l'appareillage de mesure utilisé, issu de la norme NF EN 14150, et l'adaptation de la procédure expérimentale qui a dû être effectuée dans certains cas, on présentera brièvement les différents matériaux testés. Les résultats obtenus seront donnés et discutés dans le paragraphe 3 ; dans le paragraphe 4 on analysera les résultats des propriétés physiques des bitumes des sites 5 et 6.

2. Matériels et méthodes

2.1. Appareillage de mesure

L'appareillage de mesure est constitué d'une cellule en deux parties, de contrôleurs pression-volume dont l'objectif est d'appliquer la pression désirée sur chacune des faces de la géomembrane et de mesurer les variations de volume dans chacune des chambres de la cellule, et d'un ordinateur pour l'enregistrement des données (Figure 1).

L'éprouvette de géomembrane est enserrée entre les deux parties de la cellule cylindrique. Un mastic bitumineux peut être appliqué aux bords de la cellule pour éviter les fuites dans le cas où des géomembranes bitumineuses sont testées. Dans les deux parties de la cellule séparées par l'installation de la géomembrane, les deux chambres de 0,2m de diamètre permettent d'appliquer une différence de pression entre les deux faces de la géomembrane.

À l'aval de la géomembrane, un disque en inox fritté permet de prévenir toute déformation de la géomembrane liée à la différence de pression appliquée entre les deux faces, supérieure à l'amont. Les deux chambres de la cellule sont équipées de purges afin d'évacuer l'air de la cellule avant le démarrage de l'essai (Lambert et Touze-Foltz, 2000).

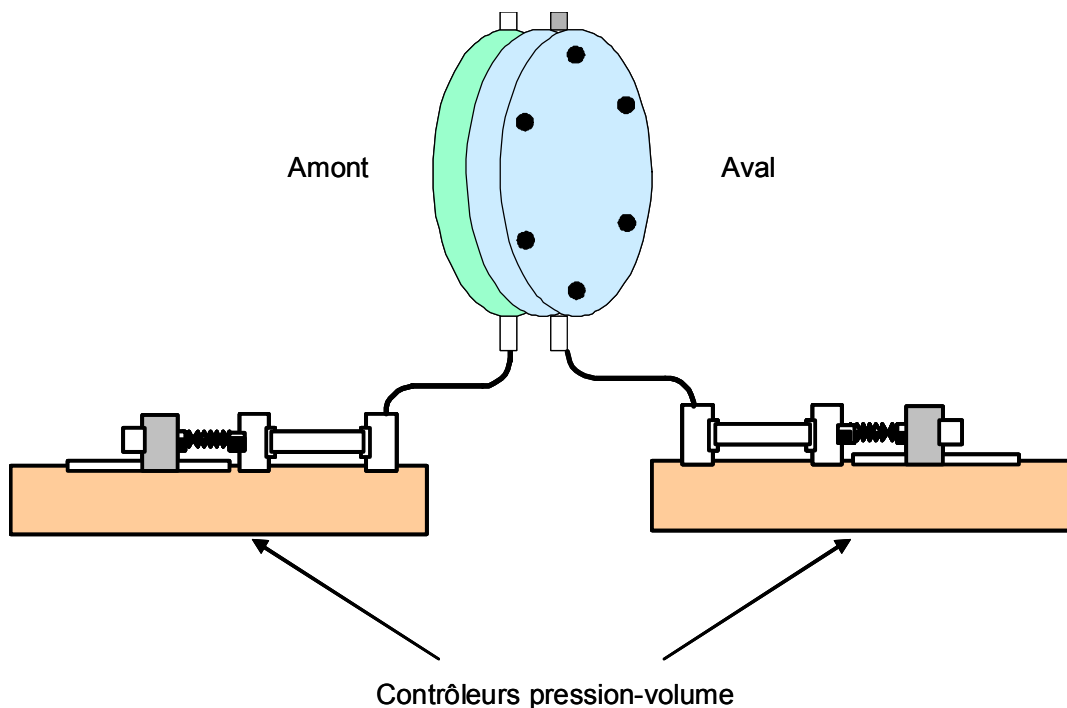


Figure 1. Appareillage de mesure selon la norme NF EN 14150 (ordinateur non représenté).

2.2. Procédure d'essai

La norme NF EN 14150 indique d'appliquer dans la phase de mesure du flux des pressions égales à 150 et 50 kPa respectivement à l'amont et à l'aval de la géomembrane. Le résultat est exprimé en termes de flux d'eau traversant la géomembrane. Pour les géomembranes des sites 1 à 5, qui seront présentées dans le paragraphe suivant, la mesure de flux n'a pas pu être effectuée avec une différence de pression de 100 kPa car les flux auraient été trop élevés pour être mesurables avec les dispositifs expérimentaux disponibles au laboratoire. La procédure expérimentale a en effet dû être adaptée pour pouvoir appliquer des différences de pression plus faibles. On a alors utilisé un bac à niveau constant pour appliquer une charge hydraulique à l'amont de la géomembrane, tandis qu'à l'aval de celle-ci, laissée à pression atmosphérique, le flux d'eau ayant traversé la géomembrane était recueilli et quantifié par pesée.

Cette procédure a dû être suivie lorsque les éprouvettes de géomembrane présentaient à leur surface des micro-craquelures comme celle de la figure 2. Cela était le cas pour toutes les

géomembranes testées qui n'étaient pas recouvertes. Les différences de charge hydrauliques appliquées entre les deux faces de la géomembranes ont alors varié entre 0,1 et 2 m pour ces éprouvettes au lieu des 10 m spécifiés dans la norme.



Figure 2. Aspect de la surface de la géomembrane du site 5 au moment du prélèvement



Figure 3. Aspect des surfaces de la géomembrane du site 6 au moment du prélèvement

Au contraire, la géomembrane du site 6, qui était recouverte ne présentait aucune micro-craquelure à sa surface (Figure 3). Bien que l'échantillon de géomembrane ait été prélevé 30 ans après l'installation du matériau, la procédure décrite dans la norme NF EN 14150 a pu être suivie.

2.2. Géomembranes testées

Les géomembranes bitumineuses sont des matériaux manufacturés composés de différentes couches qui sont, du bas vers le haut, une barrière racinaire constituée par un film en polyester, un géotextile non tissé en polyester imprégné de bitume et une surface sablée qui permet d'augmenter l'angle de frottement et de faciliter l'installation.

Il existe deux types de liants différents qui peuvent entrer dans la composition des géomembranes bitumineuses : les bitumes oxydés et les bitumes modifiés par un élastomère.

Les bitumes oxydés sont des bitumes dont les propriétés rhéologiques ont été modifiées de façon substantielle par une réaction avec de l'air à haute température (AFNOR, 2000). Cette oxydation conduit à la formation de fonctions oxygénées (carbonyles, alcools) polaires qui forment des liaisons hydrogène (Mouillet et al., 2008).

Les bitumes modifiés par des élastomères sont obtenus par l'ajout au bitume d'un copolymère qui peut être du styrène-butadiène-styrène (Peggs, 2008).

Il est important de noter que ces deux types de liants bitumineux ont des propriétés différentes. Dans cet article on traite exclusivement de géomembranes en bitume oxydé ; les résultats obtenus pour ce type de géomembrane ne peuvent en aucun cas être étendus aux géomembranes en bitume modifié par un élastomère.

Le tableau 1 donne quelques détails relatifs aux sites sur lesquels des géomembranes en bitume oxydé ont été prélevées entre 2000 et 2006. On indique en particulier la nature du site (bassin ou barrage), l'âge de la géomembrane au moment du prélèvement lorsqu'il est disponible, l'épaisseur de la géomembrane et la présence d'une éventuelle protection ou d'eau au contact de la géomembrane. Seule la géomembrane du site 6 était protégée. La géomembrane du site 5 n'était pas recouverte mais située en permanence sous l'eau au sein d'un barrage destiné aux loisirs aquatiques et, par conséquent, toujours plein sauf au moment des vidanges décennales.

Tableau 1. Description des caractéristiques de la géomembrane en bitume oxydé et des différents sites de prélèvement

Site	Type	Épaisseur (mm)	Âge (années)	Protection
1	Bassin	4	21	Non
2	Barrage	4	19	Non
3	Bassin	4	-	Non
4	Bassin		-	Non
5	Barrage	4.8	26	Eau
6	Barrage	4.8	30	Oui

3. Résultats

À titre d'exemple, la figure 4 présente les résultats obtenus pour une éprouvette de géomembrane provenant du site 2. Les mêmes types de résultats sont obtenus pour les éprouvettes des géomembranes des sites 1 à 5. Dans ces cas de figure, différents paliers de charge hydraulique ont été appliqués, avec des valeurs de charge hydrauliques comprises entre 0,1 et 2m. Lorsqu'un flux d'eau constant était atteint, la charge hydraulique était augmentée. Le régime transitoire peut s'expliquer par le fort potentiel de la géomembrane bitumineuse à absorber de l'eau à moyen terme (Durin et al., 1998). Cette tendance s'accroît avec l'augmentation de la charge hydraulique.

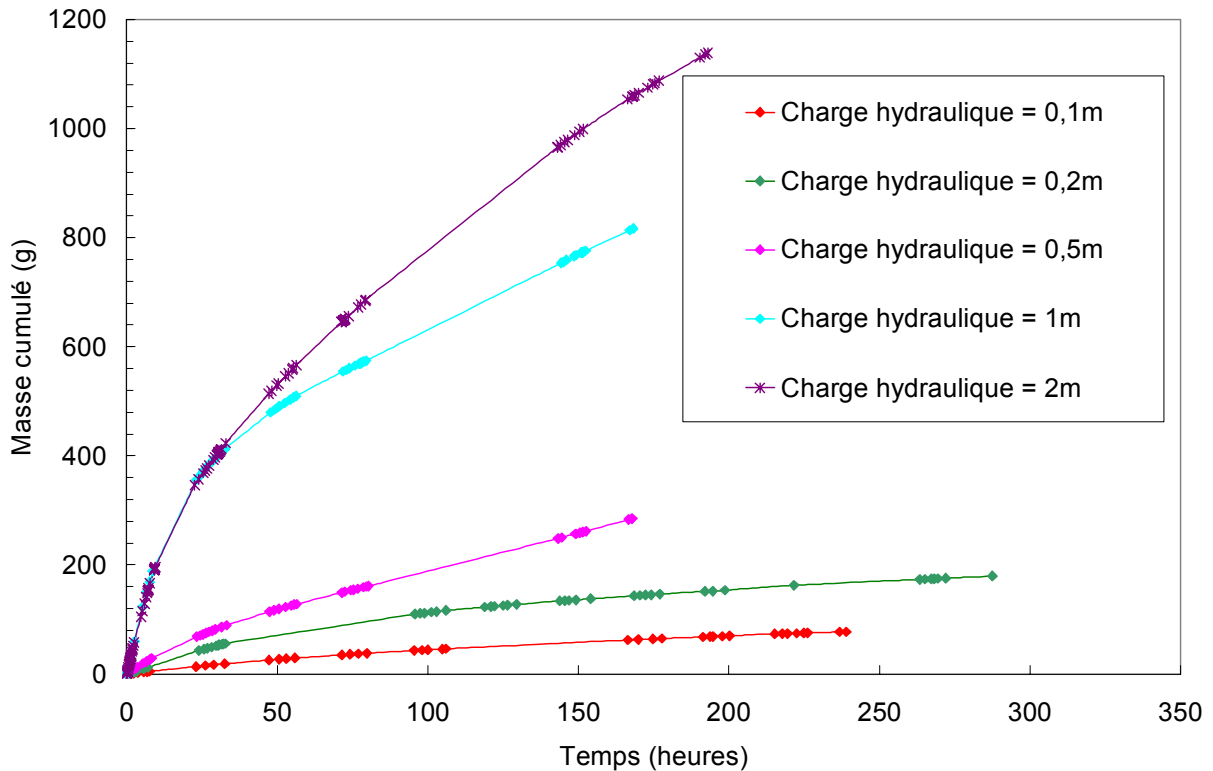


Figure 4. Exemple de courbes expérimentales obtenues pour une éprouvette de géomembrane provenant du site 2

Les valeurs de flux obtenues pour ces géomembranes sont présentées dans le tableau 2. Ces valeurs ont été reportées sur la figure 5, où l'on a également indiqué le flux qui serait obtenu avec un mètre de matériau argileux de conductivité hydraulique égale à 10^{-9} ou 10^{-8} m/s. On observe que les flux les plus forts obtenus sur les sites 1 à 3 sont du même ordre de grandeur que ceux qui seraient obtenus avec une couche d'argile compactée d'un mètre d'épaisseur de conductivité hydraulique égale à 10^{-8} m/s.

Tableau 2. Flux obtenus en régime permanent pour les différentes éprouvettes de géomembranes en bitume oxydé des sites 1 à 5 ($\times 10^{-6} \text{m}^3/\text{m}^2/\text{j}$)

Site	Charge hydraulique (m)					
	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0
1	11	110	140	1100		1700
2	210	300	1400	2700		3500
3	500	1100	1500	2200		2000
4			29		90	
5			1	2,7	4,6	

Les valeurs reportées dans le tableau 2 et sur la figure 5 montrent que, dans le cas de la géomembrane du site 5, non protégée mais immergée, après 26 ans en service le niveau d'étanchéité est assez proche de celui de géomembranes vierges, qui sont compris entre 10^{-7} et $10^{-6} \text{m}^3/\text{m}^2/\text{j}$ comme indiqué sur la figure 6. Pour autant, il ne faut pas perdre de vue que les charges hydrauliques utilisées pour tester la géomembrane du site 5 (de 0,1 à 2 m) sont moindres que celles utilisées dans les essais réalisés selon la norme NF EN 14150 (10 m).

À titre de comparaison, le flux mesuré selon la norme NF EN 14150 pour une géomembrane de même nature et d'épaisseur égale à 3,5 mm est très voisin : $10^{-6} \text{m}^3/\text{m}^2/\text{j}$ (Figure 6). Cette valeur de $10^{-6} \text{m}^3/\text{m}^2/\text{j}$ est considérée comme la limite de mesurabilité avec l'équipement de la norme NF EN 14150. Les valeurs de flux inférieures qui peuvent être obtenues ne sont pas explicitement données. On indique juste qu'elles sont inférieures à ce seuil. Le trait rouge de la figure 5 représente le seuil de mesurabilité de $10^{-6} \text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ dans la norme NF EN 14150.

Dans le cas de la géomembrane du site 6, l'essai a pu être réalisé selon la norme NF EN 14150 et le flux mesuré était inférieur à $10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{j}$ (Figure 6).

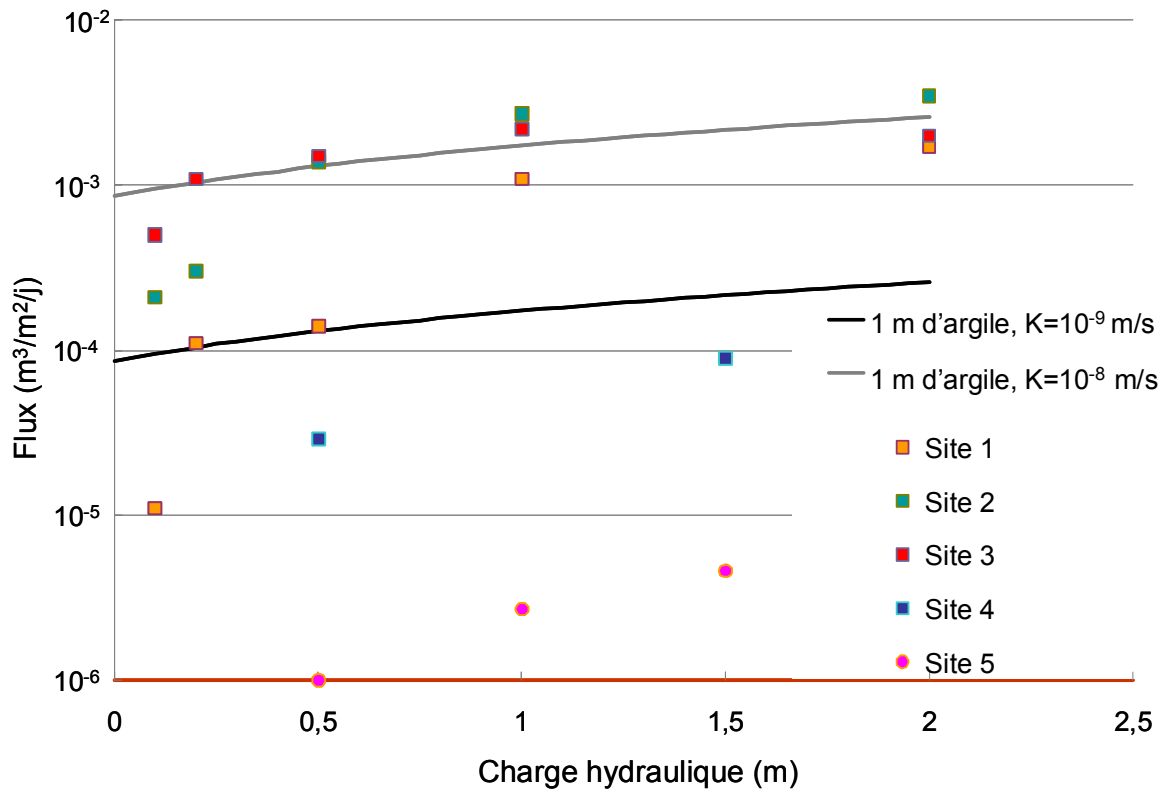


Figure 5. Comparaison des flux obtenus avec ceux d'une couche d'argile compactée soumise à la même charge hydraulique

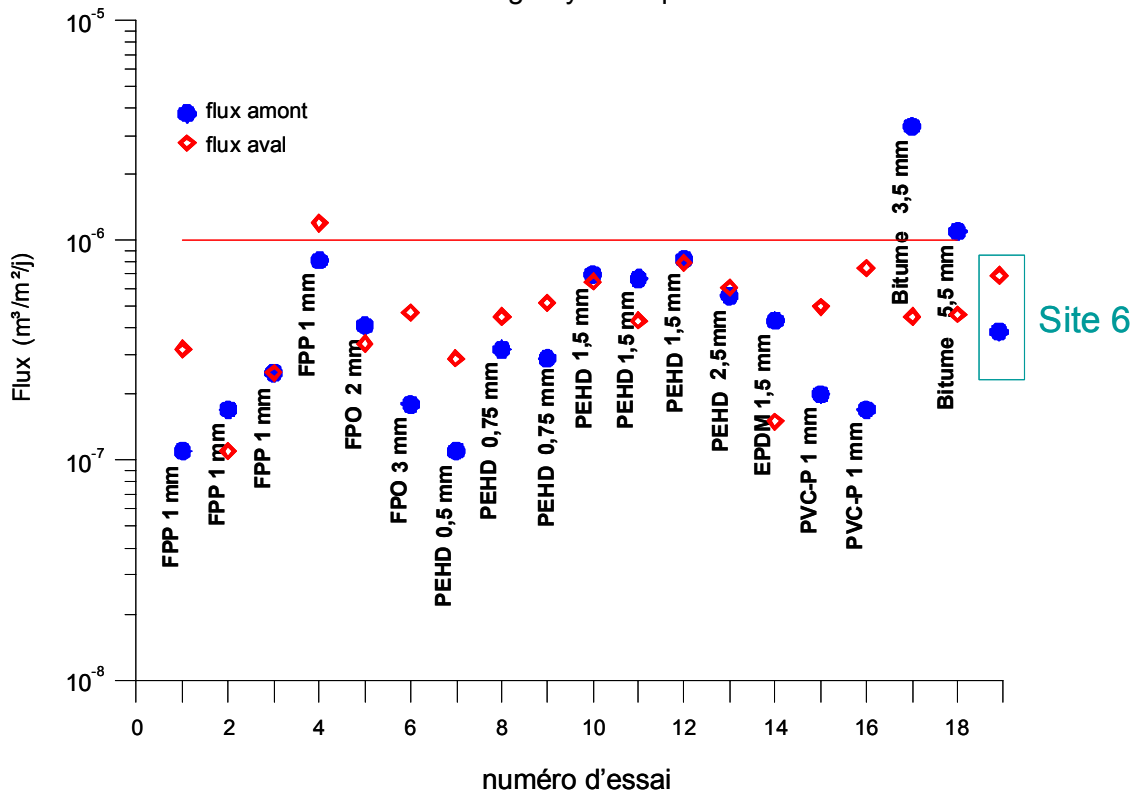


Figure 6. Synthèse des mesures de flux obtenues pour des géomembranes vierges (adapté de Touze-Foltz et Zanzinger, 2009)

4. Analyse de l'évolution du bitume oxydé

Le point de ramollissement bille et anneau (TBA) et la teneur en asphaltènes des échantillons des sites 5 et 6 ont été respectivement déterminés selon les normes NF EN 1427 and NF T 60-115. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Point de ramollissement bille et anneau et teneur en asphaltènes pour les géomembranes des sites 5 et 6

Site	TBA (°C)	Teneur en asphaltènes (%)
5	147-153	31-35
6	139-144	23-29

Les caractéristiques de la géomembrane vierge pour ces deux sites sont inconnues. Pour ce type d'application, les bitumes utilisés appartiennent souvent à la classe 110/30. À la lecture du tableau 3, on peut donc considérer que la valeur du point de ramollissement a augmenté, ce qui traduit un durcissement du matériau. Ce durcissement s'accompagne systématiquement de l'augmentation des caractéristiques physico-chimiques (non reportées ici) du matériau telles que :

- la teneur en asphaltènes précipités au n-heptane (NF T 60-115) ;
- les fonctions carbonylées, caractéristiques d'un phénomène d'oxydation, que l'on peut quantifier par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier, en déterminant un indice d'oxydation (Mouillet et al., 2010) ;
- la teneur en résines, déterminée par séparation sur baguette de silice selon la méthode IATROSCAN (Farcas, 1998) ;
- les associations moléculaires déterminées par chromatographie de perméation sur gel utilisée dans des conditions particulières de concentration et de débit élevé (GPC "ultra-rapide") (Brulé, 1987).

Les valeurs de TBA et de teneur en asphaltènes obtenues pour les géomembranes vieilles reflètent sans aucun doute une augmentation de ces caractéristiques par rapport à ces mêmes géomembranes neuves. Toutefois, aucune des méthodes utilisées n'a permis de faire de distinction entre les différents échantillons.

5. Conclusions

L'objectif de cet article était de présenter les valeurs de flux mesurées à travers des géomembranes en bitume oxydé avec une adaptation de la norme NF EN 14150. Les flux ont été mesurés à travers des éprouvettes de géomembranes provenant de six sites différents, bassins et barrages. La géomembrane la plus ancienne a été posée sur le site 6, 30 ans avant le prélèvement présenté ici.

Toutes les géomembranes non protégées présentant à leur surface des micro-craquelures ont montré une augmentation du flux à travers la géomembrane par comparaison avec ce qui est obtenu pour des géomembranes vierges. Pour les géomembranes pour lesquels les flux obtenus sont les plus élevés, ceux-ci sont identiques à ce qui serait obtenu avec une couche d'argile de conductivité hydraulique comprise entre 10^{-9} et 10^{-8} m/s soumise à la même charge hydraulique.

Dans le cas où la géomembrane était non recouverte mais immergée, l'augmentation de flux est plus limitée que pour les géomembranes non protégées et non immergées. Pour autant, un vieillissement de la géomembrane est détecté.

Dans le cas où la géomembrane était recouverte et immergée, aucune micro-craquelure n'a été observée à la surface du matériau 30 ans après sa mise en œuvre. Le flux mesuré à travers l'éprouvette de géomembrane correspondante est identique à celui mesuré sur une géomembrane vierge.

Ces résultats mettent en évidence la nécessité de protéger les géomembranes en bitume oxydé pour assurer la meilleure performance hydraulique possible à long terme de ces matériaux.

6. Références bibliographiques

- AFNOR (2000) NF EN 12597. Bitumes et liants bitumineux – Terminologie, 15 pages.
- AFNOR (2000) NF T 60-115. Produits pétroliers - Détermination de la teneur en asphaltènes (heptane insoluble), 11 pages.
- AFNOR (2006) NF EN 14150. Barrières géosynthétiques - Détermination de la perméabilité aux liquides, 16 pages.
- AFNOR (2007) NF EN 1427. Bitumes et liants bitumineux - Détermination du point de ramollissement – Méthode Bille et anneau. 17 pages.
- Breul, B., Eldrige, T. (2009). Deux cas d'étanchéité de barrages en Amérique du Sud par géomembranes bitumineuses. *Actes, Rencontres Géosynthétiques 2009, Nantes, France*, pp. 223-232.
- Farcas F. (1998). *Étude d'une méthode de simulation du vieillissement des bitumes sur route*, Études et Recherches des LPC, Série Chaussées, CR21, Ed. LCPC, 223 pages.
- Durin, L., Touze, N., Duquennoi, C. (1998). Water and organic solvents transport parameters in geomembranes. *Proceedings, 6th International Conference on geosynthetics, Atlanta, USA*, pp. 249-256.
- Lambert, S., Touze-Foltz, N. (2000). A test for measuring the permeability of geomembranes. *Proceedings, Eurogeo 2, Second European conference on geosynthetics, Bologna, Italy*, 10 pages.
- Marchiol, A., Romero, M.A., Benneton, J.-P., Dumas, Ph., Gautier, J.-L. (2006). Examen d'une géomembrane bitumineuse après 12ans d'usage comme couverture d'une zone de stockage de déchets. *Actes, Rencontres Géosynthétiques 2006, Montpellier, France*, pp.123-132.
- Mouillet, V., Farcas, F., Besson, S. (2008). Ageing by UV radiation of an elastomer modified bitumen. *Fuel*, 87, pp. 2408-2419.
- Mouillet, V, Farcas, F., Battaglia, V., Besson, S., Petiteau, C., Le Cunff, F. (2010), Identification et dosage des fonctions oxygénées présentes dans les liants bitumineux. Analyses par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier. *Méthode LPC n°69*, 10 pages.
- Ossena, G., Breul, B., Herment, R. (1997). Conception et réalisation de la couverture étanche d'un site de stockage de déchets faiblement radioactifs. *Actes, Rencontres 97 Géotextiles-Géomembranes, Montpellier, France, Vol. 2, Reims, France*, pp. 150-156.
- Peggs, I. (2008). Prefabricated bituminous geomembrane: a candidate for exposed geomembrane caps fro landfill closures. *Proceedings, The first Pan American Geosynthetics Conference and Exhibition, Cancun, Mexico*, pp.191-197.
- Potié, G., Steiner, B., Ailloud, G., Matichard, Y. (1997). Dispositif d'étanchéité par géomembrane en couverture de centres d'enfouissement de déchets et de stockage de mâchefer. *Actes, Rencontres 97 Géotextiles-Géomembranes, Reims, France, Vol. 2, 117-123*.
- Touze-Foltz, N., Zanzinger, H. (2009). Wasserdichtheit von Kunststoffdichtungsbahnen - Erfahrungen mit der Prüfung. *Geotechnik special issue 2009*, pp. 125-132.