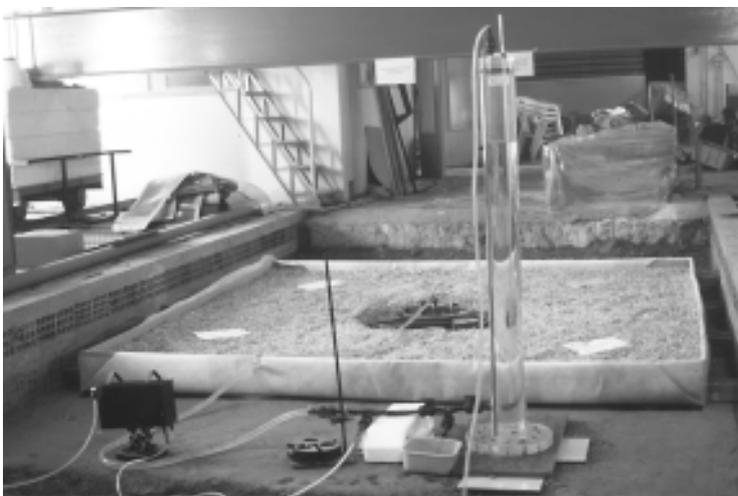


# Réalisation de planches d'essai pour l'évaluation de la performance hydraulique des étanchéités composites : résultats d'une étude préliminaire

Nathalie Touze-Foltz

Les géomembranes utilisées en fond et en couverture de centres de stockage de déchets présentent fréquemment des endommagements. Ceux-ci sont liés à la mauvaise qualité des soudures, au poinçonnement, aux contraintes excessives dans la géomembrane... Une étude récente (Rollin et Jacquelin, 1998) fait état d'une densité moyenne de 2 à 26 défauts à l'hectare avant réparation. Ces défauts constituent des passages préférentiels d'écoulement pour les lixiviats issus de la percolation d'eau au travers des déchets. Afin de quantifier les débits de fuite dans les étanchéités composites liés à la présence de ces défauts des expérimentations ont été réalisées dans des cellules de dimensions limitées (Fukuoka, 1986, Brown et al., 1987). Plusieurs auteurs (Brown et al., 1987, Giroud et al., 1992, Giroud, 1997, Rowe, 1998) ont développé des équations pour interpréter les résultats obtenus et les étendre aux conditions de terrain. Aucune validation expérimentale de ces formulations n'a été effectuée à notre connaissance. C'est pourquoi nous envisageons la réalisation de planches d'essai in situ pour mesurer les débits de fuite dans les étanchéités composites (photo 1). Une étape préliminaire à cette réalisation a été la mise en place d'une planche d'essai au labo-



▲ Photo 1. – Planche d'essai et dispositif de mesure du débit de fuite Introduction (photo Cemagref)

ratoire, dans le but de déterminer le protocole expérimental ainsi que les dispositifs de mesure appropriés. La réalisation de cette première planche a permis d'obtenir un ordre de grandeur du débit de fuite pour du limon d'Orly et une géomembrane en polyéthylène haute densité (PEHD). Après une description de la planche d'essai et du matériel de mesure, on expose les résultats obtenus en termes de débit et

**Nathalie Touze-Foltz**  
Cemagref  
URE Ouvrages  
pour le drainage et  
l'étanchéité  
BP 44  
92163 Antony  
cedex

de surface d'infiltration. les résultats sont ensuite commentés relativement à la pertinence du dispositif de mesure utilisé. Le débit de fuite obtenu en régime permanent est comparé aux prévisions données par les équations de Giroud (1997) : le débit mesuré et les prédictions sont cohérents.

### La planche d'essai et le matériel de mesure

#### ■ *L'étanchéité composite*

La planche d'essai a été réalisée dans l'ancienne fosse de voirie du Cemagref d'Antony qui mesure 3,4 m de large sur 8 m de long. Cette fosse située dans un bâtiment fermé est constituée en fond d'une dalle en béton. Les côtés longitudinaux contiennent des barbacanes qui permettent de drainer le sol contenu dans la fosse (photo 2).



▲ Photo 2. – Etat de surface du sol après régalage (photo Cemagref)

Cette fosse contient une couche de 0,65 m de limon d'Orly compacté. Le bâtiment dans lequel la planche a été réalisée a été inondé au cours de l'été 1997, et nous avons pu vérifier lors de l'expérimentation en juin 98 que le limon était pratiquement saturé, sauf en surface. La couche de surface du sol a été arasée sur 0,05 m. Malgré un régalage et l'utilisation d'un rouleau, l'état de surface obtenu n'est pas parfaitement lisse, comme le montre la photo 2, mais les trous dans le sol sont en nombre restreint et de dimensions limitées. Les pentes lo-

cales sont faibles. La conductivité hydraulique du limon à saturation mesurée au perméamètre de Guelph est comprise entre  $9.10^{-8}$  et  $4.10^{-7}$  m.s<sup>-1</sup>.

Le limon est recouvert d'une géomembrane en PEHD carrée de 3 m de côté, percée en son centre d'un trou de 2 mm de diamètre. On n'a pas observé de formation de plis importants, comme on peut le voir à la photo 3. Les ondulations dans la géomembrane observées avant le chargement par la couche granulaire ont une hauteur maximale de 0,05 m et une largeur d'environ 0,2 m. L'emplacement du trou est repéré par le cercle blanc. Un géotextile aiguilleté de masse surfacique égale à 200 g.m<sup>-2</sup> recouvre la géomembrane. Ce géotextile est destiné d'une part à assurer une fonction antipoinçonnante minimale vis-à-vis des 0,15 m de granulat roulé 10/20 mm qui recouvrent l'étanchéité composite et d'autre part à faciliter l'enlèvement des granulats à l'issue de l'expérimentation. On a pu vérifier a posteriori que la géomembrane ne présentait aucun autre endommagement que le trou volontairement créé. Une épaisseur de 0,15 m a été retenue pour se retrouver dans une situation comparable à celle des expérimentations de Brown et al. (1987).

#### ■ *Instruments de mesure du débit : vase de Mariotte, connexion étanche avec la géomembrane*

Nous avons élaboré un dispositif qui permet de mesurer le débit s'infiltrant dans l'étanchéité composite par l'amont. En effet, les planches d'essai envisagées sur site ne seront pas réalisées dans une cellule fermée permettant une mesure du débit par l'aval, après traversée de l'étanchéité composite. Ce dispositif est constitué d'un vase de Mariotte et d'une cellule en Plexiglas fixée de manière étanche à la géomembrane. Le vase de Mariotte permet à la fois d'appliquer une charge hydraulique constante et de mesurer un débit. Le volume du vase utilisé est de 18 litres. La cellule de connexion hydraulique (photo 4) est constituée d'un cylindre de 0,4 m de diamètre intérieur et de 0,1 m de haut, fermé en partie supérieure par une plaque comportant une ouverture pour l'alimentation en eau et deux purges. Une plaque de 0,8 m de diamètre, évidée en son centre sur un diamètre de 0,4 m est fixée en partie infé-

## Réalisation de planches d'essai pour l'évaluation de la performance hydraulique des étanchéités composites : résultats d'une étude préliminaire

rière de ce cylindre. Sur cette plaque est collée une chambre à air de roue de vélo partiellement gonflée, qui sert à assurer l'étanchéité entre la cellule et la géomembrane. La chambre à air préalablement enduite d'un joint de graisse silicone est posée sur la géomembrane. On charge alors mécaniquement la cellule de manière uniforme, pour éviter qu'elle ne se soule sous l'effet des forces de pression, lorsque la charge hydraulique est appliquée. La masse théoriquement nécessaire pour contrebalancer les forces de pression était de 40 kg. Nous avons appliqué un chargement de 50 kg par sécurité. Le diamètre intérieur délimité par la chambre à air était alors de 0,56 m. Le vase de Mariotte était connecté à la cellule par un tuyau en PVC cristal. Le raccord de ce tuyau à la cellule imposait que la charge hydraulique appliquée soit au minimum égale à 0,2 m.

### Résultats

Nous avons choisi d'imposer une charge hydraulique égale à 0,215 m. Ce choix a été conditionné par la méconnaissance des phénomènes susceptibles de se produire en régime transitoire au démarrage de l'essai, les différentes lois existantes étant valables en régime permanent. L'essai a duré trois semaines, avec 6 jours d'interruption liés à des difficultés expérimentales décrites ci-dessous.

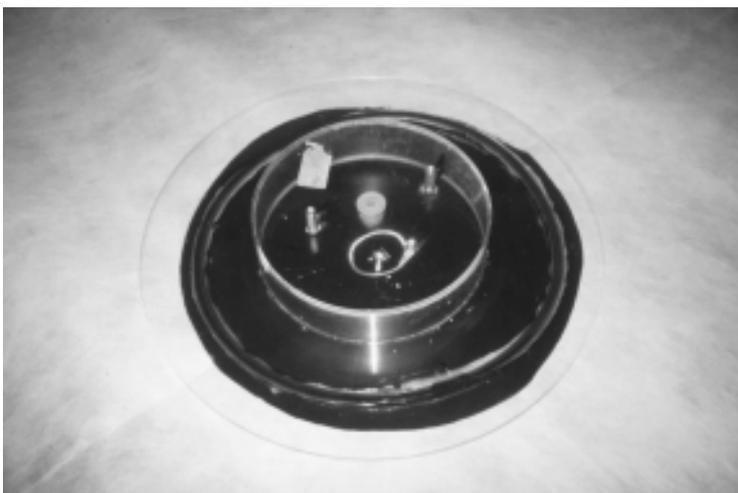
#### ■ Débits de fuite obtenus avec de l'eau

La chronique des débits de fuite mesurés lors du premier jour d'essai est présentée à la figure 1. On observe que le débit initial avoisine 220 l.j<sup>-1</sup>, puis qu'il diminue progressivement pour se stabiliser autour d'une valeur de 140 l.j<sup>-1</sup>. Le vase de Mariotte utilisé est sous dimensionné pour cette expérience. Il faut donc le remplir à plusieurs reprises au cours de la journée. C'est ce qui explique la présence sur la chronique de deux pics : le débit de fuite est un peu plus fort à l'issue des phases de remplissage du vase de Mariotte pendant lesquelles la planche n'est pas alimentée en eau.

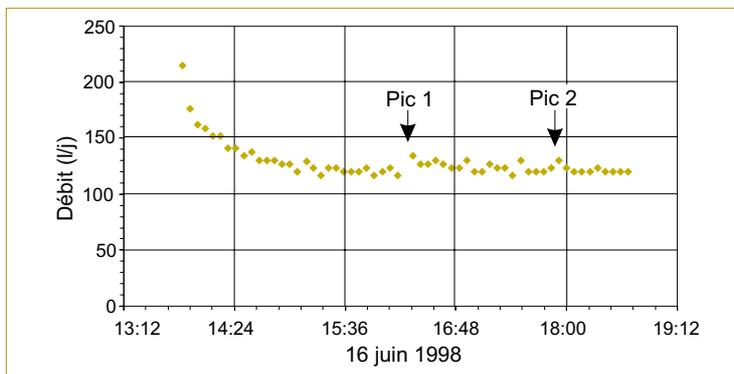
Figure 1. – Evolution du débit de fuite dans l'étanchéité composite au cours de la première journée d'essai.



▲ Photo 3. – Aspect de la géomembrane avant mise en place du géotextile et de la couche granulaire, vue de la position du défaut (photo Cemagref)



▲ Photo 4. – Cellule de branchement après fixation à la géomembrane. Visualisation du géotextile et de la position du défaut (photo Cemagref)



Nous avons observé environ un quart d'heure après le lancement de l'essai des sorties d'eau en périphérie de la planche. Nous avons donc décidé de ne pas augmenter la charge hydraulique appliquée déjà responsable d'effets de bords.

Pour pouvoir alimenter l'étanchéité composite en continu, nous avons mis en place un dispositif à niveau constant de grande capacité permettant de prendre le relais du vase de Mariotte pendant la nuit, les week-ends et les phases de remplissage du vase. Le réglage de ce nouveau dispositif par rapport au premier s'est avéré compliqué, car la charge hydraulique devait être exactement identique pour les deux systèmes d'alimentation. On a néanmoins pu obtenir pendant la dernière semaine de l'expérience un pic de début de journée qui n'excédait pas  $160 \text{ l.j}^{-1}$  et l'absence de pics en cours de journée lors des remplissages du vase de Mariotte. Le débit obtenu à l'équilibre à l'issue de l'expérimentation avoisine  $110 \text{ l.j}^{-1}$ . On n'observe plus de sorties d'eau en périphérie de la planche.

#### ■ *Débits de fuite obtenus avec une solution de bleu de méthylène*

Afin de pouvoir visualiser le schéma d'écoulement à l'interface entre la géomembrane et le limon nous avons procédé en fin d'expérience à l'injection d'environ 12 litres d'une solution de bleu de méthylène, à  $0,2 \text{ g.l}^{-1}$ . Le débit a diminué progressivement de  $110 \text{ l.j}^{-1}$  à  $60 \text{ l.j}^{-1}$  pendant les trois heures d'injection. Cette diminution peut être attribuée à un colmatage de

l'interface lié à la fixation du bleu de méthylène sur les particules d'argile contenues dans le limon.

#### ■ *Allure de la surface d'infiltration*

La photo 5 est une photographie de la tache de bleu de méthylène à la surface du limon à l'issue du démontage de la planche d'essai. Le point blanc au centre de la tache représente la position du défaut. On constate la non uniformité de cette tache, qui n'est pas circulaire. La couronne blanche en milieu de tache correspond à la zone de sol située sous la chambre à air. La contrainte mécanique appliquée pour éviter le soulèvement de la cellule en Plexiglas était trop importante pour permettre un écoulement correct du liquide. Néanmoins, l'eau a pu s'écouler au-delà de cette zone dans toutes les directions. Les longueurs des ramifications varient entre 0,4 et 1,3 m.

### Discussions des résultats

#### ■ *Aspect de la tache de bleu de méthylène*

L'anisotropie de la surface d'infiltration peut avoir différentes origines :

- la non uniformité de la contrainte mécanique appliquée par la cellule de connexion hydraulique compte tenu de la non planéité du sol ;
- la variation de la teneur en fines au sein du limon ;
- la variation de la teneur en eau dans le sol. Des prélèvements réalisés en différents points du sol, à différentes profondeurs n'ont pas permis d'établir l'existence de profils de saturation qui pourraient corroborer cette hypothèse d'autant que l'état hydrique du sol était initialement voisin de la saturation ;
- l'irrégularité de la surface du limon ;
- la présence de plis dans la géomembrane. Néanmoins, comme on peut le constater aux figures 3 et 6, la position des plis ne correspond pas aux zones où l'étalement du bleu est le plus intense.

◀ Photo 5. – Surface du sol après injection de bleu de méthylène (photo Cemagref)



Ainsi, la non uniformité de la transmissivité d'interface, conséquence de la présence de plis et de la non planéité du sol est une des explications possibles du résultat obtenu, mais les artefacts expérimentaux relevés ici ne permettent pas de conclure avec certitude.

■ ***Critique du dispositif de mesure du débit, d'application de la charge hydraulique utilisé et de visualisation de la surface d'infiltration***

On a vu quelles étaient les limites du dispositif d'application de la charge hydraulique et de mesure du débit utilisés. En particulier l'utilisation d'une cellule fixée à la géomembrane pour l'application de la charge n'est pas une bonne solution. On lui préférera, pour la réalisation de planches d'essai sur site une solution qui consiste à fixer sur la géomembrane en PEHD une pipette permettant le branchement direct d'un tuyau. Ainsi, on pourra appliquer une charge mécanique uniforme sur l'intégralité de la surface de la géomembrane via une couche granulaire. On cherchera également à avoir un vase de Mariotte de dimensions suffisantes pour limiter les périodes d'interruption d'alimentation de la planche ou le recours à un dispositif secondaire d'alimentation difficile à régler. De plus, dans un but de visualisation des écoulements à l'interface on utilisera un colorant qui n'interagisse pas avec le sol pour visualiser la surface d'infiltration.

■ ***Interprétation des débits de fuite obtenus***

Nous avons comparé le débit de fuite obtenu en régime permanent aux prédictions données par les équations de Giroud (1997), pour de bonnes et de mauvaises conditions de contact. Les bonnes conditions de contact correspondent (Giroud, 1997) à une géomembrane installée avec aussi peu de plis que possible sur un sol de faible conductivité hydraulique ayant été correctement compacté et présentant un état de surface plan. On fait également l'hypothèse qu'une contrainte mécanique suffisante est appliquée pour maintenir la géomembrane en contact avec le sol. Les mauvaises conditions de contact correspondent à une géomembrane installée avec un certain nombre de plis et/ou

placée sur un sol de faible conductivité hydraulique mal compacté et qui n'apparaît pas plan. Les débits ainsi calculés sous estiment le débit mesuré, quelle que soit l'hypothèse sur la qualité du contact comme le montre le tableau 1. Ce résultat peut être attribué à deux facteurs :

– les équations utilisées ne sont pas complètement applicables. En effet, la condition à la limite sous le sol n'est pas une pression nulle mais un flux nul, et la fosse est de dimensions limitées, alors que les équations sont valables pour des cas terrain ;

– l'application d'une contrainte mécanique au niveau de la chambre à air engendre la transmission intégrale de la charge hydraulique à l'interface entre le sol et la géomembrane. Tout se passe alors comme si l'on avait un défaut de 56 cm de diamètre.

Dans cette dernière hypothèse, le débit de fuite est bien compris entre les prévisions pour les bonnes et les mauvaises conditions de contact (voir Tableau 1). Les rayons de surface d'infiltration calculés à partir des équations de Giroud et al. (1992) surestiment les rayons observés dans ce cas. On constate en particulier que pour les mauvaises conditions de contact les rayons de surface d'infiltration obtenus sont supérieurs à la demi-largeur de la fosse : on atteint dans ce cas la limite d'emploi des équations de Giroud et al. (1992) et Giroud (1997), valables pour des cas terrain.

Malgré les difficultés d'interprétation en termes de bonnes ou mauvaises conditions de contact, et de dimensions du défaut, on constate quand même que l'ordre de grandeur du débit de fuite mesuré, et des rayons de la surface d'infiltration est cohérent avec les ordres de grandeur donnés par les lois de Giroud (1997). Il se révèle de plus indispensable de dimensionner les planches d'essai qui seront réalisées sur site et les dispositifs de mesure pour les mauvaises conditions de contact. En effet, on ne pourra pas prévenir l'existence d'un régime transitoire au cours duquel les débits de fuite sont plus importants qu'en régime permanent. De plus l'étanchéité composite sera recouverte de 0,5 m de granulats ; la contrainte mécanique sera donc encore faible.

Tableau 1. – Résultats des prédictions obtenues avec les lois de Giroud (1997) pour des défauts de  $1 \cdot 10^{-3}$  m et 0,28 m de rayon en fonction des conditions de contact et de la conductivité hydraulique du sol. ▼

Rayon du défaut (m)	$1 \cdot 10^{-3}$				0,28			
	Bonnes		Mauvaises		Bonnes		Mauvaises	
Conductivité hydraulique ( $m \cdot s^{-1}$ )	$9 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-7}$						
Débit de fuite ( $l \cdot j^{-1}$ )	8,1	24,5	44,5	134,2	25,1	75,6	137	414
Rayon de la surface d'infiltration (m)	0,57	0,47	1,34	1,10	1	0,82	2,34	1,93

### Conclusions

L'expérience préliminaire présentée ici était nécessaire pour pouvoir correctement adapter et dimensionner les dispositifs de mesure et les planches d'essai. Ainsi, le dispositif d'application de la charge hydraulique initialement envisagé n'est pas adéquat, car il génère des contraintes parasites. Malgré cela, on a pu mesurer un débit de fuite dans l'étanchéité composite par l'amont. L'ordre de grandeur de ce dé-

bit de fuite est cohérent avec les prédictions des équations de Giroud (1997). L'injection d'un colorant à l'interface entre le sol et la géomembrane qui n'interagisse pas avec les particules d'argile du sol devrait permettre de valider ou d'invalider l'hypothèse d'une transmissivité d'interface non uniforme et de déterminer les dimensions de la surface d'infiltration. ■

### Résumé

La réalisation de planches d'essai d'étanchéité composite in situ est indispensable à la validation des équations de prévision des débits de fuite existantes. Les résultats d'une étude préliminaire de prédimensionnement et de mise au point des matériels de mesure des débits de fuite et des surfaces d'infiltration sont décrits ici.

### Abstract

The realisation of large scale in situ experiments is a necessary step to validate the existing equations predicting flow rates through composite liners. Results of a preliminary study aiming at dimensioning the testing pads and the flow measurement devices are presented herein.

### Bibliographie

- A. ROLLIN, T. JACQUELIN (1998). "*Geomembrane Failures : Lessons Learned From Geo-Electrical Leaks Surveys*". To be published in Lessons Learned From Geomembrane Failures, by J.P. Giroud, 17 pages.
- BROWN, W., THOMAS., LYHON, L., JAYAWICKRAMA, P., BAHRT, S.C. (1987). "*Quantification of Leak Rates Through Holes in Landfill Liners*". USEPA Report CR 810940, Cincinnati, USA, 1987, 147 p.
- FUKUOKA, M. (1986) "*Large scale permeability test for geomembrane subgrade system*", *Third International conference on Geotextiles*, Vienna, 917-922.
- J.P. GIROUD, K. BADU-TWENEBOAH, R. BONAPARTE (1992). "*Rate of Leakage through a Composite liner due to Geomembrane Defects*". *Geotextiles and Geomembranes* **11**, 1-28.
- J.P. GIROUD (1997). "*Equations for calculating the rate of liquid migration through composite liners due to geomembrane defects*". *Geosynthetics Int.*, Special Issue, Vol. 4, Nos 3 & 4, 335-348.
- ROWE, R.K. (1998). "*Geosynthetics and the minimization of contaminant migration through barrier systems beneath solid waste*", Keynote paper, Proceedings of the Sixth International Conference on Geosynthetics, Atlanta, March, Vol. 1, pp. 27-103.
- TOUZE-FOLTZ, N. (1999). "*Réalisation de planches d'essai pour l'évaluation de la performance hydraulique des étanchéités composites : résultats d'une étude préliminaire*". Rencontres Géosynthétiques 99, Comité Français des Géosynthétiques, Bordeaux, 12-13 octobre 1999.

photo D. Croissant

