

INFLUENCE DU TYPE DE BENTONITE DANS LES GSB ET DE LEUR STRUCTURE SUR LES TRANSFERTS EN ÉTANCHÉITÉ COMPOSITE

INFLUENCE OF GCLs PROPERTIES ON INTERFACE FLOW IN COMPOSITE LINERS DUE TO GEOMEMBRANE DEFECTS

M. J. A. Mendes¹, Nathalie Touze-Foltz²

¹ University of Brasilia, Brasilia, Brazil

² Cemagref, Antony, France

RÉSUMÉ – On présente les résultats d'une étude dont l'objectif est de quantifier l'impact de la nature de la bentonite sur les transferts dans les étanchéités composites. En effet, différents travaux préalablement menés ont permis de montrer que certains géosynthétiques bentonitiques (GSB) contenant de la bentonite calcique ont une conductivité hydraulique supérieure à ceux contenant de la bentonite sodique. Nous cherchons donc à quantifier cet impact lorsque le GSB est situé au cœur d'une barrière d'étanchéité. Les flux obtenus sont comparés à ceux générés lorsque seul le géotextile constitutif du GSB est placé à l'interface. Les résultats montrent le bien fondé de préférer un GSB à un géotextile comme limiteur de flux.

Mots-clés : géosynthétique bentonitique, étanchéité composite, géotextile, flux advectif

ABSTRACT – This paper presents the results of an experimental study aiming at quantifying the impact of the nature of the bentonite on transfers through composite liners. Indeed various research works have shown that some geosynthetic clay liners (GCLs) containing calcium bentonite could exhibit larger hydraulic conductivities than GCLs containing sodium bentonite. We thus intended to quantify this impact when the GCL is located inside a composite liner. Flow rates obtained are compared to those generated when the constitutive geotextile of the GCL is used alone at the interface of the composite liner. Results tend to show that a GCL has to be preferred to a geotextile in order to reduce the flow rates.

Keywords: GCL, composite liner, geotextile, advective flow

1. Introduction

Les géosynthétiques bentonitiques (GSB) sont le plus souvent constitués par deux géotextiles qui encapsulent de la bentonite, en poudre ou en granulés. Cette bentonite peut avoir différentes natures, en fonction du cation interfoliaire majoritairement présent. On distingue ainsi les bentonites sodiques naturelles, calciques activées ou calciques. Lorsque la bentonite est confinée et hydratée, elle présente de bonnes propriétés d'étanchéité. Toutefois, ces propriétés varient en fonction de la nature de la bentonite. Ainsi pour les différentes bentonites testées dans le cadre du projet de recherche LIXAR 2 (Guyonnet et al., 2008) on a observé que la conductivité hydraulique des GSB à base de bentonite calcique était supérieure à celle des bentonites calciques activées et sodiques naturelles qui présentent des conductivités hydrauliques très voisines pour ces deux derniers matériaux.

Dans les installations de stockage de déchets, les géosynthétiques bentonitiques qui peuvent être utilisés, par exemple dans le cas de la réalisation de barrières passives équivalentes, sont systématiquement associés à une géomembrane, qui fait partie intégrante de la barrière active. Les géomembranes, en lien avec leur faible épaisseur, sont susceptibles de subir des poinçonnements lors de la mise en œuvre de la couche drainante granulaire. Le géosynthétique bentonitique va fonctionner comme un limiteur du débit qui traverserait autrement l'étanchéité dans le cas où un défaut est présent dans la géomembrane. Qui plus est, le GSB est posé sur une couche de sol de faible conductivité hydraulique. En effet, le guide équivalence à l'usage des tiers-experts (MEEDAT, 2008) préconise la réduction de la couche de faible conductivité hydraulique imposée par la réglementation, si elle ne peut pas être reconstituée dans son intégralité. En aucun cas la substitution de cette couche de faible perméabilité par un géosynthétique bentonitique n'est recommandée.

C'est pourquoi nous nous proposons dans cet article de présenter les résultats de mesures de flux effectuées sur des étanchéités composites géomembrane-géosynthétique bentonitique dans le cas où la géomembrane est endommagée.

Des travaux précédents réalisés sur le sujet ont permis d'étudier l'influence de la charge hydraulique, de la contrainte mécanique appliquée sur l'étanchéité composite, et de l'hydratation préalable ou non du

GSB sur les débits obtenus (Harpur et al., 1994 ; Barroso et al., 2006). Les résultats obtenus montrent qu'il est difficile d'obtenir des tendances claires de l'influence de ces différents paramètres. Cependant, Barroso et al. (2006) ont montré que la contrainte de confinement influence différemment le flux selon que le GSB a été ou non préhydraté avant mise en place de la géomembrane. Une influence plus importante a été observée pour des produits préhydratés. Qui plus est, l'influence du mode de fabrication des GSB sur les flux au travers les étanchéités composites a également été étudiée par ces auteurs. Mais dans tous les cas de figure, la bentonite contenue dans les GSB était soit calcique activée soit sodique naturelle.

Dans la suite de cet article nous allons présenter les résultats obtenus pour deux géosynthétiques bentonitiques provenant du même producteur, avec le même process de fabrication, contenant deux bentonites différentes, une sodique naturelle et une calcique naturelle. Après une présentation des matériaux de l'étude et des essais réalisés, nous montrerons le peu d'influence de la nature de la bentonite sur les transferts en étanchéité composite dans la configuration testée.

Des essais ont également été réalisés avec le géotextile constitutif du GSB. Ces essais permettent de mettre en évidence l'influence de la bentonite contenue dans le GSB sur les transferts advectifs.

2 Matériaux de l'étude

2.1 Géomembrane

Une géomembrane en PEHD de 2mm d'épaisseur a été utilisée pour tous les essais réalisés. Des défauts circulaires ont été pratiqués au centre de la géomembrane, de 4mm ou 10mm de diamètre selon les essais. La géomembrane utilisée était similaire à celle de Barroso et al. (2006).

2.2 Géosynthétiques bentonitiques

Deux géosynthétiques bentonitiques cousus différents ont été testés dans cette étude. Les GSB 1 et GSB 2 contiennent respectivement une bentonite sodique naturelle et une bentonite calcique naturelle. Les géotextiles constitutifs sont identiques, tissés, à base de polypropylène. Un conteneur constitué d'un géotextile non tissé aiguilleté placé entre ces deux géotextiles favorise le maintien de la bentonite au sein des deux GSB, comme le montre la figure 1.

Les bentonites sont des argiles naturelles avec des capacités de gonflement importantes lorsqu'elles sont hydratées, mais qui sont moindres pour les bentonites calciques par comparaison avec les bentonites calciques activées ou sodiques naturelles.

Le tableau I synthétise les principales propriétés des GSB et des géotextiles constitutifs. Le tableau II synthétise les propriétés principales des deux bentonites étudiées. En particulier, on observe que les conductivités hydrauliques des deux GSB mesurées à l'oedoperméamètre selon la norme NF P 84-705 sous 50 kPa sont significativement différentes.

Les géotextiles constitutifs des GSB ont pu être obtenus auprès du producteur. Des essais de transmissivité d'interface ont donc également été réalisés avec le géotextile vierge ainsi qu'avec une éprouvette de géotextile provenant du lé de GSB 1 contenant de la bentonite sodique naturelle qui a été soigneusement isolé après découpage des coutures. Cette éprouvette de géotextile est imprégnée de bentonite comme le montre la figure 2.

Tableau I. Principales caractéristiques des GSB étudiés

GSB	GSB 1	GSB 2
Epaisseur sous 10 kPa (mm)	7,0	11,7
Masse par unité de surface à 0% de teneur en eau (kg/m ²)	5,41	10,59
Conductivité hydraulique sous 50 kPa NF P 84-705 (m/s)	3,2.10 ⁻¹¹	6,9.10 ⁻¹⁰
Bentonite	Na Naturelle	Ca Naturelle

Tableau II. Caractéristiques des bentonites utilisées

GSB	Smectite (%)	Calcite (%)	Feldspars (%)	Cristobalite (%)	Quartz (%)	Indice de gonflement (cm ³ /2g)
GSB1	76,5	1,8	1,2	0,0	4,4	34,0
GSB2	76,8	0,9	2,3	1,9	7,3	10,0



Figure 1. Aperçu des matériaux qui composent les GSB étudiés.



Figure 2. Aperçu de la surface du géotextile provenant du lé de GSB, imprégnée de bentonite sodique naturelle

2.3. Sol

Le sol utilisé dans les essais de transmissivité d'interface sous le GSB provient d'une installation de stockage de déchets portugaise. Il est identique à celui utilisé par Barroso et al. (2006). Sa conductivité hydraulique est égale à 8.10^{-11} m/s.

2.4. Dispositif expérimental pour la réalisation des essais de transmissivité d'interface

Les essais ont été réalisés dans une cellule en Plexiglas de 20cm de diamètre accueillant une couche de 4.5kg de sol compactée approximativement de 6.0cm d'épaisseur, une géomembrane et une plaque granulaire, sur laquelle on peut appliquer conjointement une contrainte mécanique et une charge hydraulique. La cellule de transmissivité se compose de trois parties, comme l'indique la figure 3 : un socle épais de 6 cm qui sert de support au sol de l'étanchéité composite testée, une partie inférieure de 10cm de haut, au centre de laquelle est compactée la couche d'argile représentant la barrière minérale, sur un diamètre de 20cm et sur laquelle on vient mettre en place le GSB et une partie supérieure de 6cm de haut qui clôt la cellule; elle est percée de deux ouvertures, l'une à laquelle on raccorde l'alimentation hydraulique permettant d'appliquer la charge, l'autre étant une vanne de purge pour évacuer l'air initialement présent dans la partie supérieure de la cellule. Dans cette partie supérieure vient se loger une plaque de résine époxy plane sur la face supérieure et incluant des granulats 20/40 mm sur sa face inférieure (ces granulats sont en contact direct avec la géomembrane) Une contrainte mécanique de 50kPa est appliquée sur la partie supérieure de la cellule par une presse. L'application de la charge hydraulique de 30cm se fait en utilisant un bac à niveau constant contenant de l'eau distillée ou par un vase de Mariotte pour les faibles débits.

Le débit de fuite à travers l'interface entre la géomembrane et le GSB est mesuré à l'aval à partir de la collecte de l'écoulement d'eau qui sort aux extrémités de l'étanchéité composite mise en place dans la cellule. Pour les débits plus faibles, la mesure du volume d'eau infiltré à travers l'étanchéité composite est réalisée par le vase de Mariotte qui alimente simultanément la cellule. Les essais ont été suivis jusqu'au moment où le régime permanent est atteint.

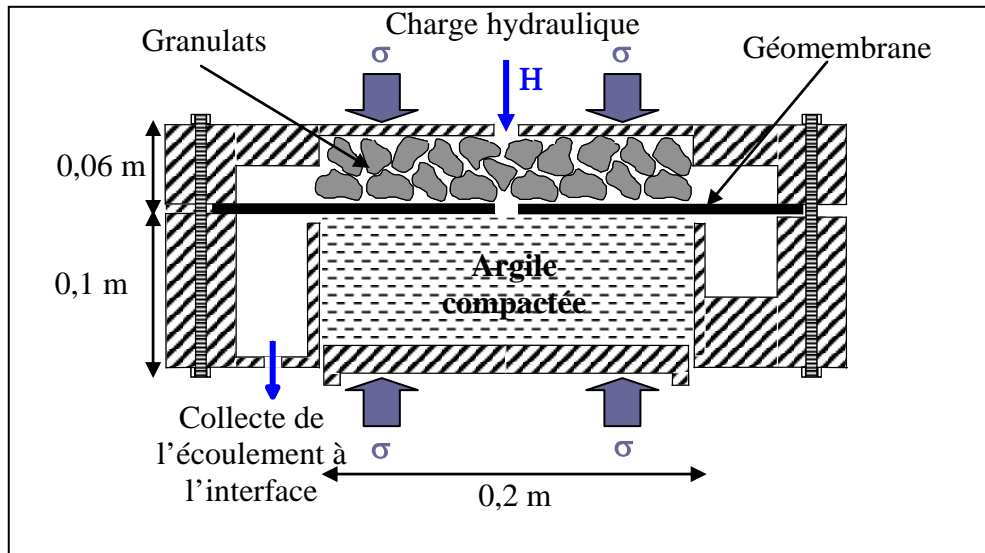


Figure 3. Schéma en coupe de la cellule de mesure de dimension décimétrique (d'après Cartaud, 2004)

4. Résultats obtenus

La figure 4 présente les résultats obtenus pour les différents essais de mesure de transmissivité d'interface réalisés. On peut observer que les débits décroissent systématiquement au cours de l'essai pour les cas où un géosynthétique bentonitique est utilisé. Les flux obtenus en début d'essai sont comparables à ceux mesurés lorsque seul un géotextile est positionné à l'interface entre la géomembrane et l'argile comme le montre la figure 5.

On observe également que l'imprégnation du géotextile par de la bentonite n'a aucune influence sur le flux obtenu pour les essais réalisés avec un géotextile seul à l'interface. Ainsi, c'est bien le composant bentonite lui-même qui est responsable de la réduction du flux obtenu au cours de l'essai. Ce phénomène pourrait s'expliquer par le gonflement de la bentonite qui va conduire à comprimer le GSB contre la géomembrane et ainsi à réduire le flux. Une autre explication pourrait résider dans l'allure très contrastée des courbes de rétention des géotextiles et de la bentonite qui composent les GSB. Ainsi, la bentonite étant non saturée pourrait avoir tendance à exercer une succion sur le géotextile et par là-même à réduire très fortement la conductivité hydraulique de ce composant du GSB qui deviendrait alors très peu conducteur. Des recherches supplémentaires restent à mener pour pouvoir faire la part des choses entre ces deux phénomènes.

Les flux obtenus en régime permanent sont très voisins les uns des autres. Ce résultat est valable quelle que soit la nature de la bentonite contenue dans le GSB. Un tout petit écart est observé dans le cas du grand défaut dans la géomembrane (10mm de diamètre), pour le GSB 2 contenant de la bentonite calcique naturelle.

Le débit de fuite mesuré avec le GSB 2 est significativement différent de celui du GSB1, dans la configuration où le défaut mesure 10mm de diamètre pour le régime transitoire. Il est important de tenter d'analyser les causes de ce phénomène.

Nous avons observé que la cinétique de gonflement des bentonites calciques en oedoperméamètre est toujours plus lente que celle des bentonites sodiques au sens large (sodiques naturelles ou calcique activées). De plus ces bentonites ont une capacité de gonflement moindre. Le temps nécessaire pour que la bentonite gonfle et que le GSB vienne s'appliquer contre la géomembrane est plus important que pour les bentonites sodiques. Ce phénomène qui n'a pas eu d'implication dans le cas où le défaut est de petit diamètre semble avoir plus influencé les résultats d'essai pour le défaut de plus grande dimension.

Pour autant ce régime transitoire n'a que peu d'effet sur le flux obtenu en régime permanent.

Des valeurs de transmissivité d'interface ont pu être obtenues par utilisation de la solution analytique proposée par Touze-Foltz et al. (1999) à partir des flux mesurés en régime permanent dans les différentes étanchéités composites étudiées.

Le tableau III synthétise ces différentes valeurs de flux ainsi que les transmissivités correspondantes. On peut observer que bien que la valeur de conductivité hydraulique pour les deux GSB soit différente il

n'y a pas d'impact significatif de cette valeur sur le flux obtenu en régime permanent. Le diamètre du défaut a également peu d'influence dans la gamme de diamètres testés allant de 4 à 10mm. Les valeurs de transmissivité d'interface obtenues avec le GSB contenant de la bentonite sodique naturelle sont très voisines de celles obtenues avec le GSB contenant la bentonite calcique naturelle en montrant que pour les configurations étudiées, la conductivité hydraulique du GSB n'influence pas la transmissivité de l'interface de l'étanchéité composite. Ces résultats seraient à confirmer pour des GSB avec un mode de fabrication différent et sans doute également avec une barrière argileuse plus perméable mais qui respecterait tout de même les contraintes réglementaires, pour vérifier s'il existe une relation entre la transmissivité de l'interface et la conductivité hydraulique équivalente de l'étanchéité composite.

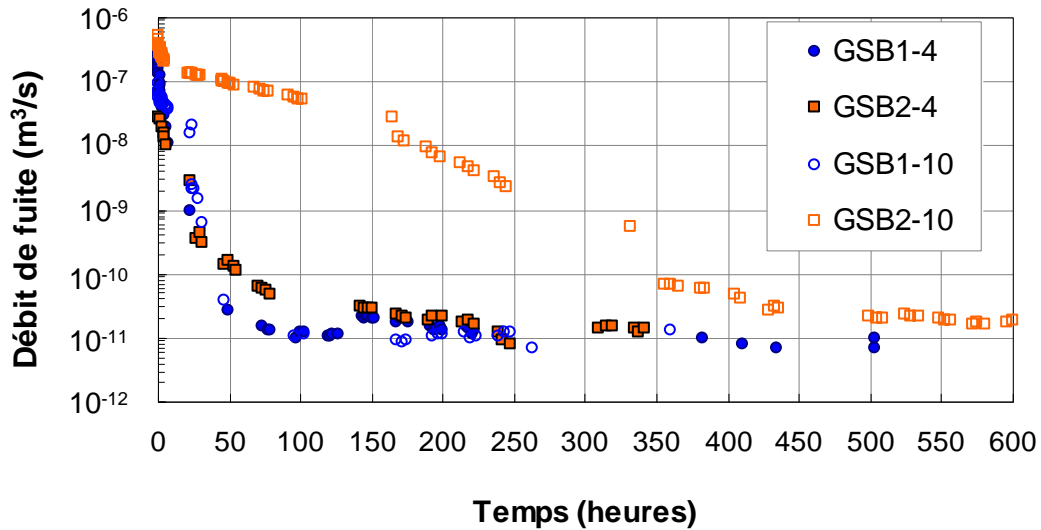


Figure 4. Évolution des débits de fuite pour les essais réalisés avec les géosynthétiques bentonitiques

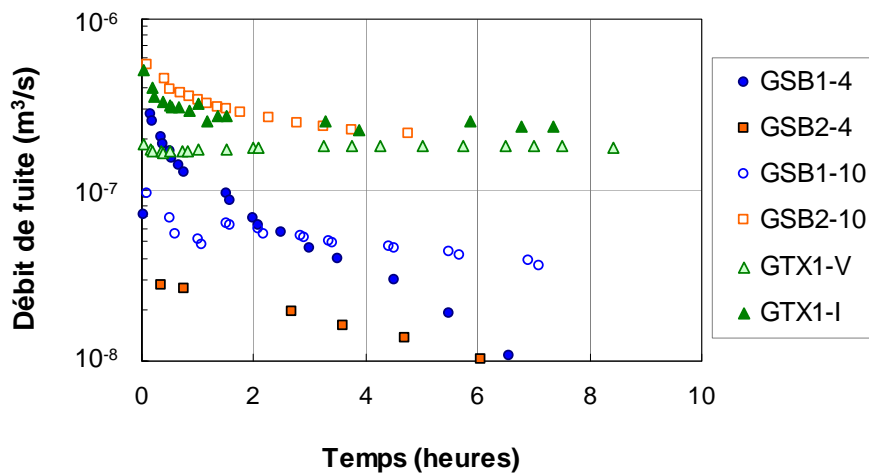


Figure 5. Évolution du débit mesuré pour les géotextiles vierge et imprégné de bentonite sodique naturelle

Tableau III. Débits mesurés et transmissivité d'interface calculée d'après Touze-Foltz et al. (1999).

Essai	Débit mesuré (m^3/s)	Transmissivité d'interface (m^2/s)
GSB1-4	1.3×10^{-11}	2.6×10^{-11}
GSB1-10	1.3×10^{-11}	1.9×10^{-11}
GSB2-4	1.4×10^{-11}	2.8×10^{-11}
GSB2-10	1.8×10^{-11}	2.7×10^{-11}

GSB-X-Y: X est le numéro du GSB et Y le diamètre de la perforation dans la géomembrane (en mm).

En ce qui concerne les essais réalisés avec des géotextiles à l'interface géomembrane-argile, les débits obtenus restent élevés au cours du temps, très voisins de leur valeur initiale. Le débit est légèrement plus important avec le géotextile imprégné par de la bentonite. Ce résultats était contraire à

l'attente puisqu'on aurait attendu que la bentonite imprégnée entre les fibres en s'hydratant et en gonflant provoque un colmatage du géotextile. Ce phénomène ne s'est pas produit. Il est possible que les débits mesurés aient été trop forts et aient généré un lessivage des particules de bentonite. C'est ce qui a été observé sur des essais de mesure de la perméabilité de ces géotextiles effectués en parallèle selon la norme NF EN ISO 12956 et dont les résultats ne sont pas présentés ici. Qui plus est, le géotextile imprégné de bentonite a été obtenu après découpage des coutures du GSB. Il est possible que les points de couture aient généré des passages préférentiels d'écoulement dans le GSB ce qui expliquerait les débits plus forts observés. La bentonite aurait aussi pu entraîner une lubrification des fibres du géotextile, le rendant ainsi plus mouillant et donc plus conducteur.

En tout état de cause, cette étude renforce le principe selon lequel il n'est pas souhaitable d'utiliser un géotextile à l'interface entre la géomembrane et l'argile, par comparaison avec un GSB. En effet, le géotextile ne présentera pas les mêmes propriétés antipoinçonnantes que le GSB et il conduira à l'obtention de débits de fuite plus importants en cas de perforation accidentelle de la géomembrane.

5. Conclusions

Les expérimentations réalisées ici avaient pour objectif d'évaluer l'impact de la nature de la bentonite, sodique naturelle ou calcique naturelle, sur les transferts advectifs dans les étanchéités composites. La question semblait pertinente au vu des valeurs différentes de conductivité hydraulique entre ces deux types de bentonite. Nous avons donc testé l'impact de la nature de la bentonite pour deux GSB provenant du même fabricant. Nous n'avons pas noté d'impact de la nature de la bentonite sur le flux mesuré en étanchéité composite. Ces résultats seraient à confirmer pour une barrière argileuse plus perméable mais respectant tout de même les contraintes réglementaires, ainsi que pour des GSB provenant de producteurs différents. La seule différence observée porte sur les flux en régime transitoire, qui sont plus élevés pour le GSB contenant de la bentonite calcique, dans le cas du plus grand défaut de 10 mm de diamètre. Ce résultat pourrait s'expliquer par la durée plus longue d'hydratation de la bentonite calcique naturelle par rapport à la bentonite sodique naturelle. Les transferts advectifs ont également été quantifiés dans le cas où un géotextile est placé à l'interface géomembrane-argile. Les débits obtenus correspondent à ceux mesurés en début d'essai avec les géosynthétiques bentonitiques. Ils sont nettement plus élevés. Au vu de ces résultats, il est déconseillé d'utiliser un géotextile à l'interface géomembrane argile car ce matériau sera moins efficace qu'un GSB en termes de protection de la géomembrane comme anti-poinçonnant, mais également source de débits plus importants en cas d'existence de défauts dans la géomembrane.

6. Références bibliographiques

- AFNOR (1999). NF EN ISO 11058. Geotextiles and geotextile-related products - Determination of water permeability characteristics normal to the plane, without load.
- AFNOR (2008). NF P 84-705. Géosynthétiques bentonitiques. Détermination à l'oedoperméamètre des caractéristiques de gonflement, flux et perméabilité des géosynthétiques bentonitiques (GSB). Essai de caractérisation et essai de performance, 21 p.
- Barroso M., Touze-Foltz N., von Maubeuge K., Pierson P. (2006). Laboratory investigation of flow rate through composite liners consisting of a geomembrane, a GCL and a soil liner. *Geotextiles and Geomembranes*. 24 (3), pp. 139–155.
- Cartaud F. (2004). Modélisation des écoulements dans les interfaces des barrières d'étanchéité composites des installations de stockage de déchets. Thèse de doctorat de l'Ecole nationale Supérieure des Mines de Paris, 272 p.
- Guyonnet D., Touze-Foltz N., Didier G., Norotte N., Pothier C., Blanc Ph. (2008). Performance-based criteria for the control of GCBs in landfill applications. Cancun, 2-5 March 2008, 53-58.
- Harpur W.A., Wilson-Fahmy R.F., Koerner R.M. (1994). Evaluation of the contact between geosynthetic clay liners and geomembranes in terms of transmissivity. *Proceedings 7th GRI Conference on Geosynthetic Liners Systems: Innovations, Concerns and Design*, IFAI, St. Paul, MN pp. 138-149.
- MEEDAT (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire), (2008). Guide de recommandations pour l'évaluation de l'équivalence en étanchéité passive d'installation de stockage de déchets, Version 2, 45 pages.
- Touze-Foltz N., Rowe R.K., Duquennoi C. (1999). Liquid flow through composite liners due to geomembrane defects: Analytical solutions for axi-symmetric and two-dimensional problems. *Geosynthetics International*, 6(6) 455–479 (Erratum: 2000, 7, (1), 77).