

Performance d'un géosynthétique bentonitique dans une couverture d'installation de stockage de déchets après six ans en service

T. Pirrion, J.F. Ouvry, Nathalie Touze, D. Croissant, S. Rosin-Paumier

▶ **To cite this version:**

T. Pirrion, J.F. Ouvry, Nathalie Touze, D. Croissant, S. Rosin-Paumier. Performance d'un géosynthétique bentonitique dans une couverture d'installation de stockage de déchets après six ans en service. Sciences Eaux & Territoires, 2012, 8, p. 48 - p. 53. 10.14758/SET-REVUE.2012.8.08 . hal-00753757

HAL Id: hal-00753757
https://hal.science/hal-00753757

Submitted on 19 Nov 2012

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.

Performance d'un géosynthétique bentonitique dans une couverture d'installation de stockage de déchets après six ans en service

Dans les installations de stockage des déchets, le confinement des déchets est réalisé grâce à des structures d'étanchéité-drainage dont le rôle est de limiter les transferts de polluants vers le milieu environnant. L'amélioration de la gestion de ces unités de traitement passe par une meilleure connaissance du comportement des matériaux d'étanchéité constituant ces barrières étanches en couverture. Cet article nous présente les principaux résultats obtenus dans le cadre d'une expertise du fonctionnement hydraulique d'une couverture constituée de géosynthétique bentonitique.

Ces dernières années, les géosynthétiques bentonitiques (GSB) ont été utilisés en couverture d'installations de stockage de déchets. Ces produits, de par leur faible perméabilité, leur épaisseur, leur facilité de mise en œuvre et leur résistance aux contraintes environnantes, offrent une alternative attractive en tant que structure d'étanchéité, comparativement, par exemple, aux couches d'argile rapportées et compactées.

Cependant, il apparait que la bentonite contenue dans les géosynthétiques bentonitiques est sensible à son environnement. Il se produit notamment des échanges cationiques des ions sodium présents initialement dans la bentonite, conduisant à une augmentation de la conductivité hydraulique dans le temps. Plusieurs études ont mis en évidence une augmentation sensible de la conductivité hydraulique de GSB, leur faisant perdre la fonction de barrière d'étanchéité, lorsque ces échanges cationiques sont combinés à des cycles d'humidification dessiccation (Egloffstein, 2001).

Par ailleurs, il a été démontré qu'une épaisseur suffisante de matériaux de recouvrement au dessus du GSB permet d'éviter les cycles d'humidification et dessiccation. La diminution de la performance hydraulique est alors moindre, permettant de conserver la fonction hydraulique du GSB pour au moins dix ans (Zanzinger et Touze-Foltz, 2009).

Cet article a pour objectif de présenter les principaux résultats obtenus dans le cadre d'une expertise sur un site réaménagé. Cette expertise a été déclenchée après le constat de la collecte d'un volume de lixiviats cinq fois supérieur au volume théorique attendu.

L'installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND) expertisée est située dans la région Nord Pas de Calais. La couverture a été installée au cours de l'été 2003 pour la majeure partie du site, une réparation a été effectuée en 2006. L'expertise a été menée pendant l'été 2009.

L'épaisseur du sol de recouvrement, au-dessus du géocomposite de drainage situé directement sur le dessus du GSB, est proche de 0,5 m, ce qui est conforme aux recommandations françaises qui ont été établies sur l'application des GSB (Comité français des géosynthétiques, 1998).

Une partie de la couverture a dû être remplacée au cours de l'été 2006, suite à des tassements importants. Dans cette zone de la couverture, l'épaisseur de sol s'est avérée être d'environ 0,2 m. L'épaisseur du sol sur le GSB

❶ Méthodologie

Le modèle utilisé pour réaliser le bilan hydrique du site est MOBYDEC (*Modèle global de bilan hydrique de décharge*), développé par ANTEA. Ce logiciel calcule les volumes d'effluents produits par une installation de stockage de déchets, sur la base du phasage de l'exploitation, des données climatiques, des caractéristiques des déchets, des fonds et des couvertures des casiers.

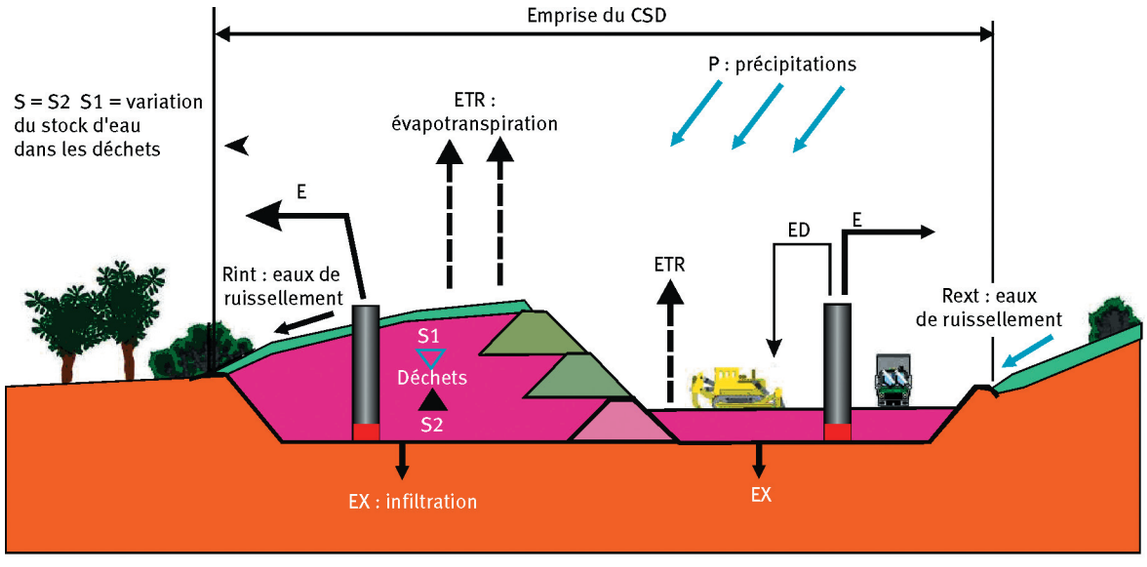
La production d'effluents liquides au sein d'une installation de stockage, et en particulier de lixiviats, est traditionnellement calculée à partir des entrées et des sorties d'eau dans le système par l'équation suivante :

$$E = P + ED - ETR - EX \pm S \pm R$$

où : E est le volume d'effluents collectés,
P est le volume des précipitations,
ED est le volume d'eau apporté par les déchets,
ETR est le volume d'eau éliminé par évapotranspiration réelle,
EX est le volume d'effluents percolant vers l'extérieur, à travers le fond de décharge,
S est la variation du volume d'eau des déchets au cours du temps,
R est le volume d'eau éliminé ou ajouté par ruissellement.

Les différents termes du bilan hydrique sont représentés schématiquement en figure ❶.

❶ Représentation schématique du fonctionnement hydrique d'une ISDND.



E = P + ED +/ R +/ S ETR EX
(EX = 0 si géomembrane ou étanchéité naturelle en fond de cellule)

L'ISDND a été modélisée par une couverture composée de haut en bas de :

- **30 cm de terre végétale ;**
- **une nappe drainante ;**
- **un GSB ;**
- **une sous-couche de terrains crayeux à matrice limoneuse de quelques décimètres.**

Pour cette couverture, nous avons alors considéré les caractéristiques suivantes :

- **conductivité hydraulique variant de 10^{-11} m/s à 10^{-7} m/s ;**
- **une réserve utile maximale de 30 mm ;**
- **un coefficient de ruissellement de 0,4 (correspondant à un sol peu perméable végétalisé) ;**
- **un coefficient cultural de 1 (correspondant à une couverture engazonnée) ;**
- **un seuil de ruissellement de 40 mm/mois,**
- **un pourcentage d'eau passant par des chemins préférentiels de 15 % ;**
- **un temps de demi-percolation de 20 mois.**

Le seuil de ruissellement est la pluviométrie à partir de laquelle il apparaît un ruissellement. Cette valeur dépend du type de sol et de la présence ou non de végétation. La valeur par défaut est de 40 mm/mois, correspondant à un terrain prairial.

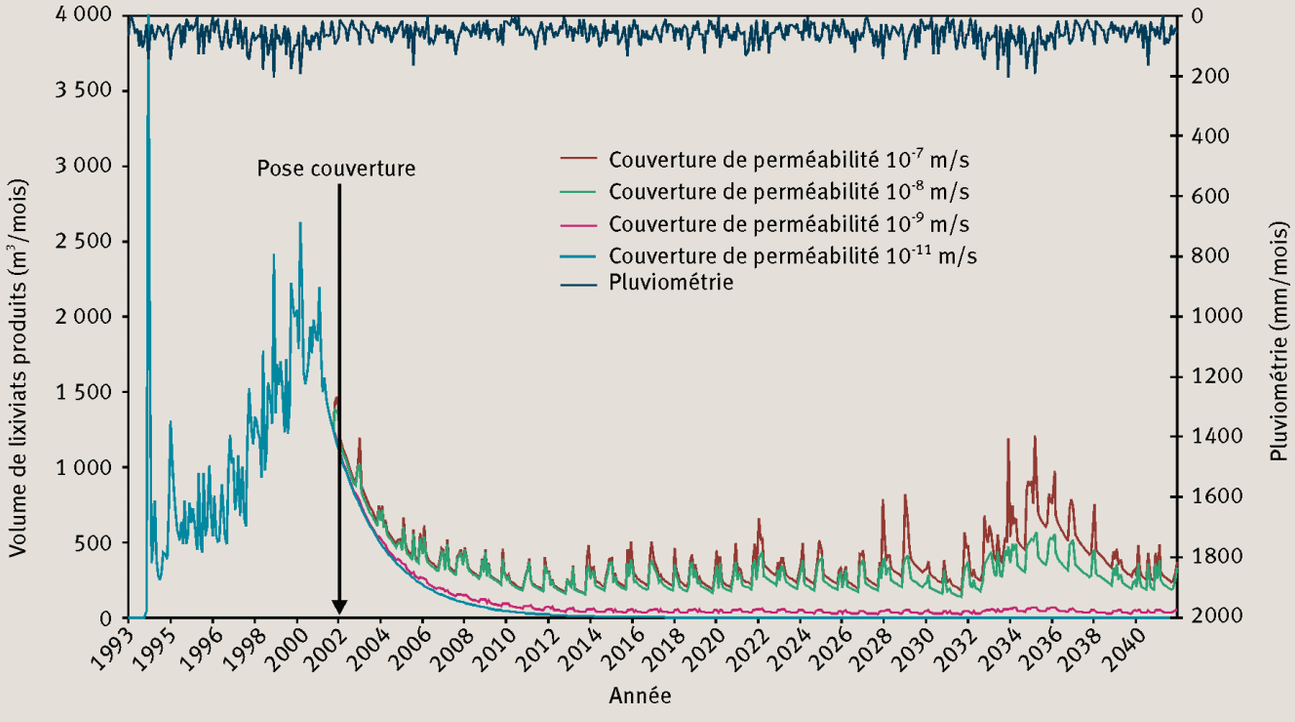
Le temps de demi-percolation est le temps requis pour que l'eau soit libérée des déchets, qu'elle arrive en fond d'alvéole et qu'elle soit collectée. Cela correspond à un « facteur de retard » : suite à une pluie, il n'y a pas immédiatement une réponse en termes de production de lixiviats. Les valeurs proposées sont basées sur le calage de données mesurées sur des sites réels.

❷ **Photographie des échantillons avant l'essai de perméabilité : (a) échantillon 2 ; (b) face supérieure de l'échantillon 6 et (c) face inférieure de l'échantillon 6.**



a b c

❸ **Volumes de lixiviats produits en fonction de la perméabilité de couverture.**



était donc irrégulière. Un géocomposite de drainage est intercalé entre le GSB et la terre de recouvrement. Une végétation herbacée colonise la couverture.

Après la présentation des caractéristiques du géosynthétique bentonitique (GSB) au moment de l'échantillonnage, un aperçu sera donné des résultats expérimentaux obtenus. Différents tests ont été effectués :

- afin d'étudier l'évolution de la bentonite dans le temps, avec les essais de gonflement, mesure de la capacité d'échange cationique, caractérisation des cations échangeables, carbonate de calcium contenu dans la bentonite et le sol environnant ;
- afin de quantifier la conductivité hydraulique des échantillons.

Enfin, un bilan hydrique a été calculé avec les propriétés réelles mesurées des matériaux en place, permettant d'expliquer l'augmentation de la production de lixiviats et argumenter sur la représentativité des essais ponctuels.

Description du GSB en place

Les GSB installés sur cette ISDND en 2003 et 2006 ont la même fiche technique. Il s'agit d'un GSB aiguilleté constitué de bentonite sodique naturelle selon la fiche technique du produit, avec une masse surfacique minimum de 3,5 kg/m².

Des racines ont été observées, et il est intéressant de noter qu'elles ont atteint et traversé de part en part le GSB dans les zones de faible recouvrement, comme illustré sur la figure ❷ (les racines correspondant à la couleur brune du GSB).

❶ Propriétés des échantillons testés selon NF P 84-705.

Échantillon	Masse surfacique du GSB (kg/m²)	Épaisseur avant essai (10^{-3}m)	Teneur en eau avant essai (%)	Teneur en eau après essai (%)	Coefficient de perméabilité (m/s)
2	4,08	4,43	48	100	$1,07 \times 10^{-6}$
3	3,95	5,34	63	112	$1,71 \times 10^{-6}$
6	3,50	3,44	37	101	$6,91 \times 10^{-6}$

Résultats des essais de laboratoire

Propriétés du GSB

La capacité d'échange cationique, les concentrations en différents cations, ainsi que la teneur en carbonate de calcium et l'indice de gonflement de différents prélèvements de bentonite ont été réalisés. Les résultats des essais de gonflement donnent une valeur inférieure à 10 ml/2 g. Ces valeurs sont représentatives de bentonites calciques.

Trois échantillons ont fait l'objet de mesure de coefficient de perméabilité. Des fentes de dessiccation ont été observées sur tous les échantillons de GSB, ainsi que des racines comme mis en évidence à la figure ❷.

Le coefficient de perméabilité des échantillons a été quantifié selon la norme NF P 84-705. Une synthèse des valeurs de conductivité hydraulique et de la teneur en eau du GSB avant et après les essais (y compris la phase d'hydratation) est présentée dans le tableau ❶. À la lecture de ces valeurs, il est clair que le GSB n'a plus sa fonction d'étanchéité (valeurs inférieures à 5×10^{-11} m/s pour des GSB neufs). La diminution de l'épaisseur peut certainement être attribuée au fait que la bentonite n'a plus aucune capacité de gonflement.

Bilan hydrique

Le calcul de bilan hydrique a été mené avec le logiciel MOBYDEC (encadré ❶).

Les volumes de lixiviats produits modélisés en fonction des perméabilités de couverture finale sont présentés en figure ❸. La pluviométrie est également intégrée aux graphiques.

Pour l'année 2008, le volume moyen annuel de lixiviats produits est estimé à :

- 4 550 m³/an avec la couverture de coefficient de perméabilité égal à 10^{-7} m/s ;
- 4 300 m³/an avec une couverture de coefficient de perméabilité égal à 10^{-8} m/s ;
- 1 900 m³/an avec une couverture de coefficient de perméabilité égal à 10^{-9} m/s ;
- 1 450 m³/an avec une couverture de coefficient de perméabilité égal à 10^{-11} m/s.

Discussion

Les résultats de coefficients de perméabilité obtenus peuvent s'expliquer par différents phénomènes. Les racines peuvent avoir une influence sur la conductivité hydraulique des GSB : si les racines pénètrent le GSB, tant que les racines sont vivantes, cela n'impacte pas la conductivité hydraulique, voire pourrait l'améliorer (Cazzuffi et Crippa, 2004). À plus long terme, lorsque les racines meurent, des circulations préférentielles apparaissent (Cazzuffi et Crippa, 2004).

Qui plus est, diverses études ont montré qu'il se produit des dommages irréversibles du produit, lorsque la dessiccation et les échanges cationiques sont combinés. Selon Sporer et Gartung (2002), les ions sodium de la bentonite sont intégralement échangés en quelques années. De même les autopsies de couvertures d'ISDND rapportées par Egloffstein (2001) mettent en évidence que l'échange cationique prend habituellement un à deux ans, lorsque le GSB est utilisé dans des conditions non saturées.

En outre, il a été établi que la conductivité hydraulique d'un GSB ayant subi des échanges cationiques est environ un ordre de grandeur supérieure à celle d'un GSB neuf, tant qu'il n'y a aucune fente de dessiccation (Egloffstein, 2001). Lorsque les fentes de dessiccation apparaissent, l'auto-cicatrisation nécessaire n'est plus possible, et les fuites sont irréversibles. Même un épisode unique de dessiccation a un effet négatif très prononcé sur la capacité d'auto-cicatrisation de la bentonite (Sporer et Gartung, 2002).

Meer et Benson (2007) ont mené une étude sur quatre sites d'enfouissement au Wisconsin et en Géorgie. L'épaisseur du sol de couverture (sol limoneux ou sableux) était dans la plage de 0,75 à 0,9 m. La plupart des ions sodium échangeables, initialement présents dans la bentonite, a été remplacée par des ions calcium et magnésium. La capacité de gonflement était de 10 ml/2 g, typique des bentonites calciques. La conductivité hydraulique des GSB exhumés était dans la gamme de $5,2 \times 10^{-11}$ à $1,6 \times 10^{-6}$ m/s après quatre à onze ans en service. Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus ici.

En matière de bilan hydrique, le volume moyen annuel de lixiviats pompés est de l'ordre de 4 000 à 5 000 m³ pour les années 2008 et 2009. La retro-analyse par modélisation permet de vérifier que la production de

lixiviats peut être liée à une couverture de coefficient de perméabilité de l'ordre de 10^{-7}m/s. Par expérience, selon la nature des terrains, il apparait que le coefficient de perméabilité verticale *in situ* de la sous-couche doit être de l'ordre de 10^{-6} à 10^{-7}m/s. Cet ordre de grandeur est confirmé par les mesures de conductivité hydraulique *in situ* réalisées en 2006 ($k = 2{,}8 \times 10^{-7}$ m/s – zone de reprise de 2006).

Cette approche permet de confirmer que les résultats obtenus sur des prélèvements ponctuels sont représentatifs de l'état global de la couverture du site étudié.

Conclusion

Cet article présente l'évolution des caractéristiques d'un GSB installé en couverture de décharge dans le département du « Nord », après deux et six années de mise en service. Le GSB reposait entre un sol support limono-crayeux, un géocomposite de drainage et un sol de couverture d'une épaisseur variant entre 0,2 à 0,5 m. Le sol de confinement contenait donc une grande quantité de carbonate de calcium. La bentonite du GSB montre un échange cationique complet entre le sodium et le calcium, même pour le produit mis en place deux années auparavant.

Pendant les essais de laboratoire, les échantillons de GSB n'ont montré aucune capacité de gonflement résiduelle et les perméabilités mesurées variaient entre 10^{-6} et 7×10^{-6} m/s. Le GSB n'assure donc plus sa fonction de barrière d'étanchéité.

L'augmentation de la conductivité hydraulique du GSB est liée à la perte de sa capacité de gonflement, engendrée par l'échange complet entre le sodium de la bentonite, et le calcium, combinée à une couverture du sol de protection insuffisante pour empêcher les cycles d'humidification/dessiccation.

La synthèse des essais réalisés et de l'évaluation théorique de la production d'un volume de lixiviats par le bilan hydrique permet de conclure que ces résultats ponctuels sont représentatifs de l'état global de la couverture pour le site étudié.

Ces résultats confirment d'autres études, menées à l'étranger concernant la nécessité d'apporter une épaisseur de confinement sur des GSB suffisante pour prévenir les phénomènes de dessiccation des ces matériaux. Ainsi, la hauteur de confinement de 0,5 m préconisée par le guide du Comité français des géosynthétiques datant de 1998 est insuffisante, mais elle correspondait aux connaissances disponibles au moment de sa rédaction.

Ces expertises de fonctionnements hydrauliques de couverture d'installations de stockage de déchets permettent, par une meilleure connaissance des matériaux, de faire évoluer les recommandations. Le Comité français des géosynthétiques a édité en 2011 un guide relatif à l'utilisation des GSB en installations de stockage de déchets dans lequel l'épaisseur minimale de recouvrement recommandée pour un GSB est de un mètre. ■

Les auteurs

Thierry PIRRION et Jean-Frédéric OUVRY
Antea Group, ZAC du Moulin,
803 boulevard Duhamel du Monceau,
CS 30602, 45166 Olivet Cedex
thierry.pirrion@Anteagroup.com
jean-frederic.ouvry @Anteagroup.com

Nathalie TOUZE-FOLTZ, Didier CROISSANT et Sandrine ROSIN-PAUMIER
Irstea, UR HBAN, Hydrosystèmes et bioprocédés,
1 rue Pierre-Gilles de Gennes,
CS 10030, 92761 Antony Cedex
nathalie.touze-foltz@irstea.fr
didier.croissant@irstea.fr

Quelques références clés...

AFNOR, 2008, NF P 84-705, Géosynthétiques bentonitiques. Détermination à l'œdoperméamètre des caractéristiques de gonflement, flux et perméabilité des géosysnthétiques bentonitiques (GSB). Essai de caractérisation et essai de performance.

CAZZUFFI, D., CRIPPA, E., 2004, Behaviour versus time of geosynthetic clay liners sampled from a brownfield in Southern Italy after seven years of installation, *Proceedings of the 3rd Asian Regional Conference on Geosynthetics Geoasia2004,* Shanghai, China, p. 480-487.

CFG, COMITÉ FRANÇAIS DES GÉOSYNTHÉTIQUES, 1998, *Fascicule 12. Recommandations pour la réalisation d'étanchéité par géosynthétiques bentonitiques*, 58 p.

EGLOFFSTEIN, T., 2001, Natural bentonites – Influence of the ion exchange and partial desiccation on permeability and self-healing capacity of bentonites used in GCLs, *Geotextiles and Geomembranes,* n° 19, p. 427-444.

MEER, S.R., BENSON, C.H., 2007, Hydraulic conductivity of geosynthetic clay liners exhumed from landfill final covers, *JGGE,* 133(5), p. 550-563.

▶ Consulter l'ensemble des références sur le site de la revue www.set-revue.fr



Détail de la sous face du géosynthétique bentonitique traversé par des racines.

© J.-F Ouvry