HAL
open science

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

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

To cite this version:

T. Pirrion, Nathalie Touze, D. Croissant, S. Rosin-Paumier, J.F. Ouvry. Performance d'un GSB dans une couverture d'installation de stockage de déchets après six ans en service. 8èmes Rencontres Géosynthétiques, Mar 2011, Tours, France. p. 339 - p. 348. hal-00585017

HAL Id: hal-00585017

https://hal.science/hal-00585017v1

Submitted on 11 Apr 2011

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.

Retour au sommaire

PERFORMANCE D'UN GSB DANS UNE COUVERTURE D'INSTALLATION DE STOCKAGE DE DÉCHETS APRÈS SIX ANS EN SERVICE

PERFORMANCE OF A GCL IN A LANDFILL COVER AFTER SIX YEARS IN SERVICE

Thierry PIRRION[1], Nathalie TOUZE-FOLTZ[2], Didier CROISSANT[2], Sandrine ROSIN-PAUMIER[2], Jean-Frédéric OUVRY[1]
[1] *ANTEA*
[2] *Cemagref Antony.*

RÉSUMÉ – Dans le cadre de l'expertise de la couverture d'une installation de stockage de déchets fermée, six échantillons de géosynthétiques bentonitiques (GSB) ont été prélevés afin de quantifier l'évolution des propriétés chimiques et hydrauliques du GSB après une mise en place de 6 ans. Cette vérification a été motivée par le constat de l'augmentation de la production des lixiviats collectés. Les résultats obtenus montrent une forte dégradation des caractéristiques hydrauliques du GSB. Cette évolution peut être expliquée par une faible épaisseur du sol de recouvrement, les échanges cationiques et la fissuration de la bentonite. Ces résultats sont en accord avec les résultats publiés antérieurs. Le bilan hydrique global calculé avec les propriétés réelles mesurées contribue à expliquer l'augmentation de la production de lixiviats. L'extension de ces résultats ponctuels à toute la couverture du site est discutée.
Mots-clés : couverture, GSB, ISDND

ABSTRACT – Six geosynthetic clay liner (GCL) samples were excavated from the cover of a landfill site closed since 2002 in order to analyse if an evolution of the chemical and hydraulic properties of the GCL had occurred after 6 years. This question was raised because of a marked increase of the leachate production. Results obtained on the GCL show an important degradation of their hydraulic properties. This evolution may be explained by the reduced thickness of the soil cover, the cation exchanges and the presence of cracks in the bentonite. Those results are consistent with previous results from the literature. With the actual properties measured, the calculated water balance helps explaining the increased production of leachate. The generalization of these results to the entire cover of the site is discussed.
Keywords: GCL, cover, landfill.

1. Introduction

Ces dernières années, les Géosynthétiques Bentonitiques (GSB) ont été utilisés en couverture d'installations de stockage de déchets. Du fait de leur faible perméabilité, de leur épaisseur, de leur facilité de mise en œuvre et de leur résistance à l'environnement (Bouazza, 2002), ces produits offrent une alternative attractive en tant que structure d'étanchéité, par comparaison avec les couches d'argile rapportées et compactées, par exemple.

Cependant, il apparaît 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 des GSB, leur faisant perdre la fonction de barrière d'étanchéité, lorsque ces échanges cationiques sont combinés à des cycles d'humidification-dessiccation (Egloffstein, 2001 ; Melchior, 2002 ; Meer et Benson, 2007). 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 10 années (Zanzinger, 2008 ; 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 5 fois supérieur au volume théorique attendu.

Après la présentation des caractéristiques générales de la couverture de l'installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND) et des caractéristiques du géosynthétique bentonitique (GSB) au moment de l'échantillonnage, un aperçu sera donné des résultats expérimentaux obtenus. Différents

tests ont été effectués : (1) 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 ; et (2) 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 d'argumenter sur la représentativité des essais ponctuels.

2. Présentation de la couverture

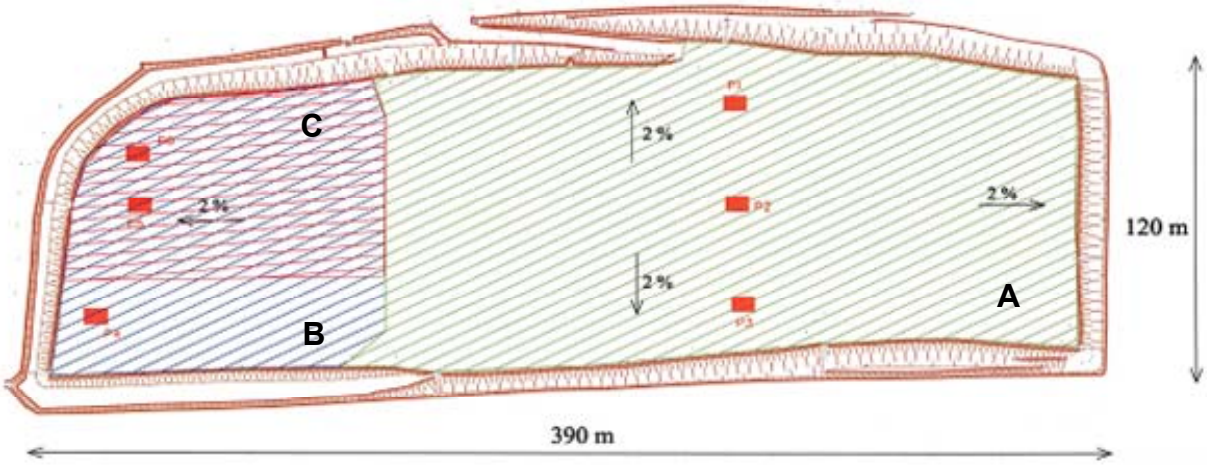
2.1. Contexte général

L'installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND) expertisée est située dans la région Nord-Pas-de-Calais, en France. 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 comme illustré sur la figure 1(a) pour les échantillons 2, 3 et 4. Cette situation est conforme aux recommandations françaises sur l'application des GSB (CFG, 1998).

(a) (b)

Figure 1. Vue de l'épaisseur de sol sur le dessus du géocomposite de drainage couvrant le GSB : (a) point de prélèvement 3 ; et (b) au point de prélèvement 6.



A - Zone réparée en 2006 selon le plan de récolement des travaux
B - Zone réparée selon les résultats de l'expertise sur le terrain
C - Zone couverte en 2003

Figure 2. Plan d'implantation des prélèvements effectués en 2009

Une partie de la couverture a été remplacée au cours de l'été 2006, suite à des tassements importants. Dans cette zone de la couverture, l'épaisseur du sol n'était que de l'ordre de 0,2 m (figure 1b). L'épaisseur du sol sur le GSB était donc irrégulière. L'emplacement des points de prélèvement est indiqué sur la figure 2.

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 minimale de 3,5 kg/m^2. Le géotextile utilisé pour le GSB est un tissé aiguilleté de masse surfacique supérieure à 220 g/m^2 et un géotextile tissé de masse surfacique 110 g/m^2. Un géocomposite de drainage est intercalé entre le GSB et la terre de recouvrement. Une végétation herbacée colonise la couverture.

2.2. Caractérisation des sols environnants

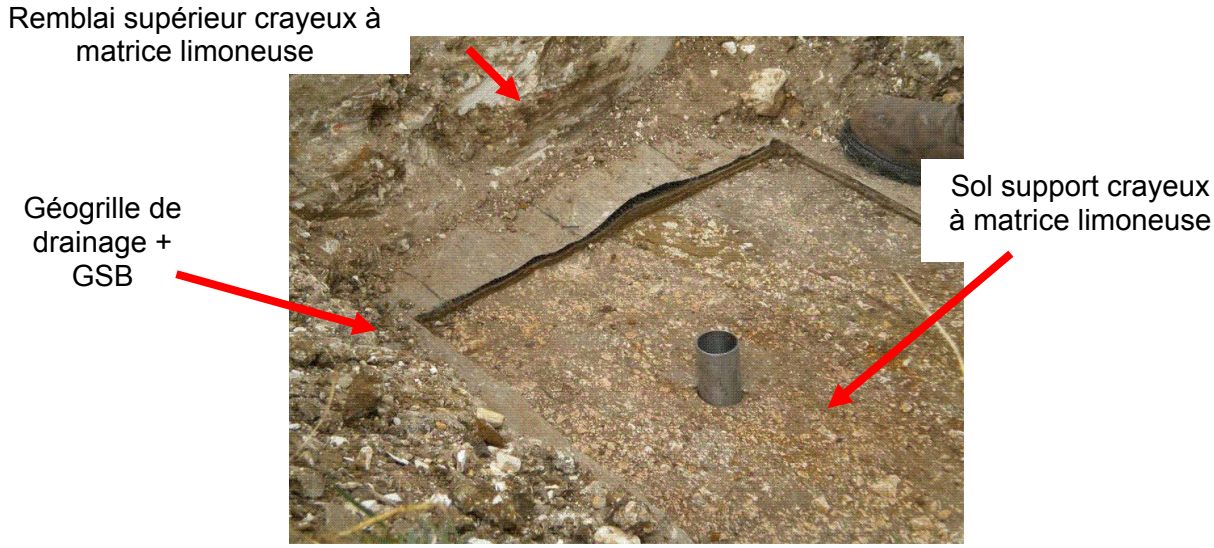


Figure 3. Structure type de la couverture

Les sols ont fait l'objet d'une caractérisation géotechnique, dont les résultats sont présentés dans le tableau 1. Trois profils hydriques ont été réalisés dans les terrains d'assise, immédiatement sous le géosynthétique bentonitique. Les matériaux sont de classe A2 au sens de la classification du Guide des Terrassements Routiers (tableau 1).

Tableau 1. Synthèse de l'état hydrique des sols de couverture

Numéro du sondage	Position / GSB	Teneur en eau pondérale (%)	I
P1 – 0,40m/TN	Au dessus	9,5	A_2
P1 – 0,50m/TN	Au dessus	10,1	A_2
P3 – 0,50m/TN	Au dessus	9,5	A_2
P4 – 0,25m/TN	Au dessus	8,8	A_2
P2 - 0,45m/TN	Sous le GSB	16,1	/
P3 – 0,50m/TN	Sous le GSB	22,4	/
P6 – 0,20m/TN	Sous le GSB	11,0	/

Selon les bulletins mensuels de Météo France, on notera que les mois d'août et septembre étaient particulièrement secs par rapport aux normales saisonnières. Il apparaît que les teneurs en eau sont très faibles – ce qui met en évidence que les sols sont bien soumis à des cycles d'humidification / dessiccation saisonniers avec les épaisseurs de recouvrement observées.

2.3. Description du GSB en place

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 4 (les racines correspondent à la couleur brune du GSB).

(a) (b)

Figure 4. Illustration de la présence de racines (a) échantillon 5 et (b) et échantillon 6.

3. Résultats des essais de laboratoire

Après les travaux d'excavation, les échantillons ont été immédiatement enveloppés dans des films plastiques, maintenus en position horizontale et directement transportés au laboratoire. Les mesures de teneur en eau des GSB et les essais de perméabilité ont été initiés le lendemain de l'excavation.

3.1. 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 et présentés par Touze-Foltz et al. (2010).
Les résultats des essais de gonflement donnent une valeur inférieure à 10 ml/2g. Ces valeurs sont représentatives de bentonites calciques (Egloffstein, 2001). Ces résultats sont cohérents avec les teneurs en ions calciums mesurées. Il semble donc que les échanges cationiques se soient totalement produits. Les sols en contact avec le GSB sur site présentent une forte teneur en ions calcium, ce qui a contribué aux échanges. Deux ans seulement après la mise en service, on constate le même phénomène.

3.2. Propriétés hydrauliques du GSB

Les échantillons des prélèvements 2, 3 et 6 ont fait l'objet de mesure de coefficient de perméabilité. Des photographies des échantillons testés sont présentées sur la figure 5. On peut remarquer la présence de racines dans les deux échantillons particulièrement pour l'échantillon 6, traversé de part en part (figures 5b and 5c). Des fentes de dessiccation sont observées sur tous les échantillons de GSB.

(a) (b) (c)

Figure 5. Photographie des échantillons avant l'essai de perméabilité: (a) échantillon 2 ; (b) face supérieure de l'échantillon 6 et GCL (c) face inférieure de l'échantillon 6.

Le coefficient de perméabilité des échantillons 2, 3 (lé supérieur) et 6 a été quantifiée selon la norme NF P 84-705. L'essai a été effectué dans un perméamètre à parois rigides. Le dispositif de test a été présenté par Norotte et al. (2004) et Guyonnet et al. (2005, 2009). Les éprouvettes d'un diamètre 0,25 m ont été hydratées, avec une solution 10^{-3} M de NaCl, sans charge hydraulique et sous une contrainte

normale de 10kPa. Cette solution est recommandée dans la norme NF P 84-705 ; elle doit permettre de préserver la conductivité hydraulique de l'éprouvette testée. Pour les trois échantillons testés, aucun gonflement n'a été mesuré (Touze-Foltz et al., 2010). Au contraire, on constate plutôt une consolidation des échantillons, ce qui est caractéristique des GSB à base de bentonite calcique. Par conséquent, la procédure décrite par Norotte et al. (2004) ne pouvait pas être suivie et a dû être adaptée, le démarrage des mesures de perméabilité ne devant théoriquement commencer que lorsque 90 % du gonflement à l'infini sont atteints. Les courbes d'adsorption obtenues pour les diverses éprouvettes testées étaient par contre cohérentes avec la forme des courbes d'absorption obtenues pour les GSB neufs, y compris pour des GSB calciques. Par conséquent, la charge hydraulique a été augmentée à 0,01 m dès l'atteinte de 90 % de l'absorption à l'infini. La valeur retenue pour la charge hydraulique est représentative des conditions d'une couverture. En outre, comme les débits obtenus pour les trois échantillons étaient importants, cette charge hydraulique réduite a permis de limiter les débits mesurés.
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 2. À la lecture de ces valeurs, il est clair que le GSB n'a plus sa fonction d'étanchéité. La diminution de l'épaisseur peut certainement être attribuée au fait que la bentonite n'a plus aucune capacité de gonflement.

Tableau 2. Propriétés des échantillons testés selon NF P 84-705

Échantillon	Masse surfacique du GSB (kg/m^2)	Épaisseur avant essai (10^{-3}m)	Teneur en eau avant essai (%)	Teneur en eau après essai (%)	Perméabilité (m/s)
2	4,08	4,43	48	100	$1,07.10^{-6}$
3	3,95	5,34	63	112	$1,71.10^{-6}$
6	3,50	3,44	37	101	$6,91.10^{-6}$

3.3. Discussion

La différence entre les résultats obtenus entre les éprouvettes 2, 3 et 6 peut être expliquée par la combinaison de différents éléments : masse surfacique moins importante, épaisseur et teneur en eau plus faibles, plus grande exposition aux conditions climatiques due à une épaisseur réduite de sol de recouvrement, présence de racines sur toute la surface des éprouvettes. 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).

Les résultats obtenus dans cette étude sont notamment cohérents avec les résultats des études antérieures de Melchior (2002) et Meer et Benson (2007). En effet, 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 1 à 2 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 d'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 $5,2.10^{-11}$ à $1,6.10^{-6}$ m/s après 4 à 11 ans en service, la plus forte conductivité hydraulique ne correspondant pas à la durée d'exposition plus grande.

4. Bilan hydrique

4.1. Méthode

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 décharge, 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'un centre 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 (1) (Adème, 1999) :

$$E = P + ED - ETR - EX \pm S \pm R \qquad (1)$$

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 sur la figure 6.

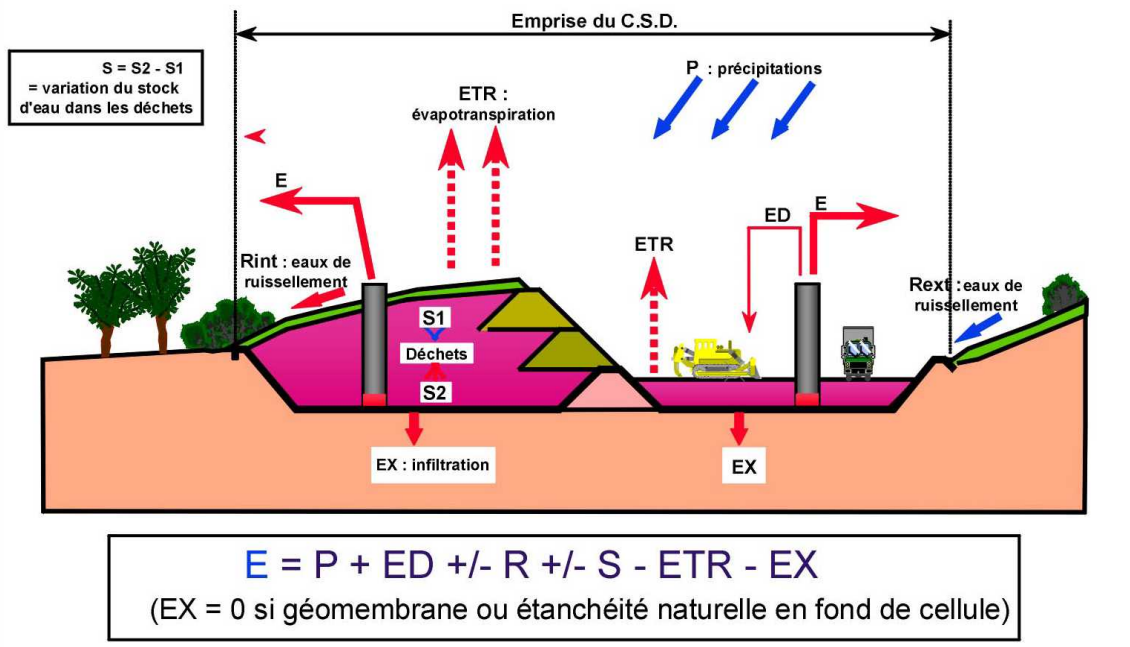


Figure 6. Représentation schématique du fonctionnement hydrique d'une ISDND

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 :

- une 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, ce qui correspond 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 (Resele, 1994).

Tableau 3. Caractéristiques du site

Superficie	38 400 m²
Hauteur de déchets	10 à 12 m
Tonnage stocké estimé	420 000 T
Perméabilité de fond	10^{-11} m/s

4.2. Résultats des modélisations

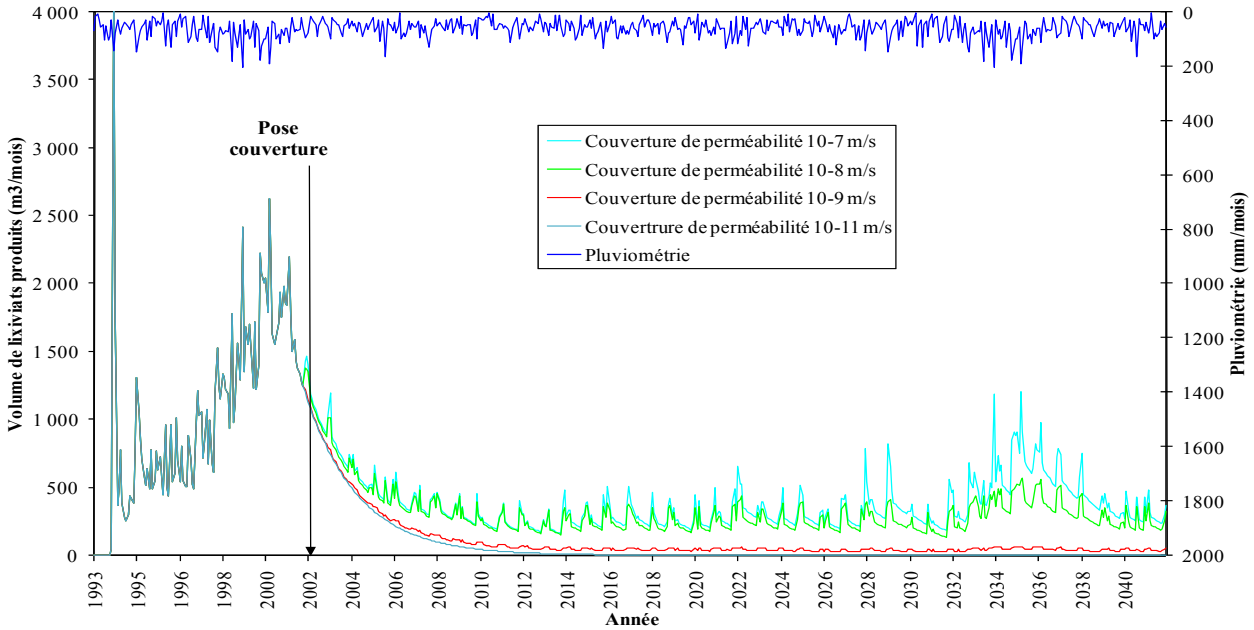


Figure 7. Volumes de lixiviats produits en fonction de la perméabilité de la couverture

Le calcul de bilan hydrique a été mené avec le logiciel MOBYDEC.
Les volumes de lixiviats produits modélisés en fonction des perméabilités de couverture finale sont présentés en figure 7. La pluviométrie est également intégrée aux graphiques.
Pour l'année 2008, le volume moyen annuel de lixiviats produits est estimé à :

- 4 550 m^3/an avec la couverture de coefficient de perméabilité égal à 10^{-7} m/s ;
- 4 300 m^3/an avec une couverture de coefficient de perméabilité égal à 10^{-8} m/s ;
- 1 900 m^3/an avec une couverture de coefficient de perméabilité égal à 10^{-9} m/s ;
- 1 450 m^3/an avec une couverture de coefficient de perméabilité égal à 10^{-11} m/s.

4.3. Discussion

Le volume moyen annuel de lixiviats pompés est de l'ordre de 4 000 à 5000 m^3 pour les années 2008 et 2009. La retro-analyse par modélisation permet de vérifier que la surproduction de lixiviats peut être liée à une couverture de perméabilité de l'ordre de 1.10^{-7}m/s. Par expérience, selon la nature des terrains, il apparaît que la perméabilité verticale in situ de la sous couche doit être de l'ordre de 1.10^{-6} à 1.10^{-7}m/s. Cet ordre de grandeur est confirmé par les mesures de conductivité hydraulique in situ réalisées en 2006 (k = $2{,}8.10^{-7}$ m/s - zone de reprise de 2006).

Selon les essais de laboratoire réalisés, la conductivité hydraulique du GSB varie de 1 à 6.10^{-6} m/s : le GSB ne remplit plus sa fonction d'étanchéité. 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.

5. 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 sont en accord avec les résultats antérieurs de la littérature en ce qui concerne le minimum d'épaisseur de sol en couverture d'installation de stockage de déchets.

6. Références

ADEME (1999). Les installations de stockage de déchets ménagers et assimilés – Techniques et Recommandations.

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

AFNOR (2002). XP P 84-703. Géosynthétiques bentonitiques. Détermination de la capacité de gonflement de l'argile dans les géosynthétiques bentonitiques.

AFNOR (1995). ISO 10693. Qualité du sol. Détermination de la teneur en carbonates. Méthode volumétrique.

AFNOR (1993). NF X 31.130. Qualité des sols - Méthodes chimiques - Détermination de la capacité d'échange cationique (CEC) et des cations extractibles.

ASTM D 5890. Standard test method for swell index of clay mineral component of geosynthetic clay liners, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

Bouazza, A. (2002). Geosynthetic clay liners. Geotextiles and Geomembranes, 20, 3-17.

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, ISBN 89-952189-4-093530, 480-487.

CFG (Comité Français des Géosynthétiques) (1998). Fascicule 12. Recommandations pour la réalisation d'étanchéité par géosynthétiques bentonitiques, 58 pages.

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, 19, pp. 427-444.

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. JGGE, 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, 27, pp. 321-331.

Mackey, R. E., Olsta, J. T. (2003). Performance of Geosynthetic Clay Liners used in two Landfill Closures in a Coastal Area of Florida, Advances in Geosynthetic Clay Liner Technology, 2nd Symposium, ASTM STP 1456, 18 pages.

Mansour, R.I. (2001). GCL performance in semiarid climate conditions. Proceedings Sardinia 2001, Santa Margherita di Pula, Cagliari, Sardinia, Italy, pp. 219-226.

Meer, S.R., Benson, C.H. (2007) Hydraulic conductivity of geosynthetic clay liners exhumed from landfill final covers. JGGE, 133(5), pp. 550-563.

Melchior, S. (2002). Field studies and excavations of geosynthetic clay barriers in landfill covers. Clay Geosynthetic Barriers, Zanzinger, Koerner & Gartung (eds), Swets & Zeitlinger, Lisse, The Netherlands, pp. 321-330.

Norotte, V., Didier, G., Guyonnet, D., Gaucher, E. (2004). Evolution of GCL hydraulic performance during contact with landfill leachate. Advances in Geosynthetic Clay Liner Technology: 2nd Symposium, ASTM STP 1456, Mackey and von Maubeuge (eds.), ASTM International, West Conshohocken, PA., pp. 41-52.

Sporer, H., Gartung, E. (2002a) Laboratory tests on desiccation of geosynthetic clay liners.. Clay Geosynthetic Barriers, Zanzinger, Koerner & Gartung (eds), Swets & Zeitlinger , Lisse, The Netherlands, pp. 331-338.

Sporer, H., Gartung, E. (2002b) Examinations on the self-healing capacity of geosynthetic clay liners. Clay Geosynthetic Barriers, Zanzinger, Koerner & Gartung (eds), Swets & Zeitlinger , Lisse, The Netherlands, pp. 339-343.

Touze-Foltz, N., Croissant, D., Rosin-Paumier, S., Pirrion, T., Ouvry, J.-F. (2010) Performance of a GCL in a landfill cover after six years in service. Proceedings, 3rd International Symposium on Geosynthetic Clay Liners, pp. 83-92.

Zanzinger, H. (2008). Evaluation of clay geosynthetic barriers in landfill cover systems. Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics, Shanghai, China, 7 pages.

Zanzinger, H., Touze-Foltz, N. (2009). Clay geosynthetic barriers performance in landfill covers, Proceedings Geoafricas 2009, 9 pages.

Retour au sommaire