
Transferts d'eau et de gaz à travers une étanchéité composite en couverture d'une installation de stockage de déchets

Etude in situ et en laboratoire

Camille Barral* — Irini Djéran-Maigre* — Patrick Pierson** —
Gérard Didier* — Mustapha Hidra*****

** Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale, INSA de Lyon
Domaine scientifique de la Doua, Bât Coulomb
33 avenue des Arts, F-69621 Villeurbanne cedex
camille.barral@insa-lyon.fr*

*** Laboratoire d'étude des Transferts Hydriques et Environnement,
Université Joseph Fourier, Maison des géosciences
1381 rue de la Piscine, F-38400 St Martin d'Hères*

**** Onyx Véolia environnement
Centre de stockage de déchets
Lieu dit "Petits Pourcieux", 26300 Chatuzange-le-Goubet*

RÉSUMÉ. Une instrumentation installée dans l'étanchéité composite d'une alvéole de déchets sur l'Installation de Stockage de Déchets de Chatuzange-le-Goubet permet de suivre l'évolution des flux d'eau et de gaz au travers des GSB. Les résultats préliminaires montrent que les flux d'eau de pluie pénétrant dans le massif de déchets sont très faibles et le GSB mis en place est protégé du gel et de la dessiccation. Ces résultats devront être confirmés sur le long terme, lors du vieillissement de la barrière. De plus des essais en laboratoire sur des œdopéréamètres permettent de caractériser l'état initial du GSB ainsi que de suivre l'évolution de ses performances lors de son vieillissement.

ABSTRACT. An instrumentation installed in the cap cover of a landfill in Chatuzange-le-Goubet allows to follow the evolution of hydrous flows through the GCL. The preliminary results show that rainwater flows which penetrate in the solid mass of waste, are very weak and the GCL is protected from freezing and desiccation. These results will have to be confirmed on the long term, at the time of the ageing of the barrier. Moreover, tests laboratory on oedopermeameters allow to characterize the initial state of the GSB and to follow the evolution of its performances at the time of its ageing.

MOTS-CLÉS : Géosynthétiques Bentonitiques, lysimètres, flux hydriques, gonflement, perméabilité

KEYWORDS: Geosynthetic clay liners, lysimeters, hydrous flows, swelling, permeability

1. Barrières étanches en couverture d'une installation de stockage

Dans le cadre du Cluster Région Environnement Rhône-Alpin et du pôle Envirhônalp, les laboratoires de recherche LGCIE (Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale) de l'INSA de Lyon et le LTHE (Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement) de Grenoble, mènent une étude sur les transferts de masse dans les couvertures des installations de stockage de déchets ménagers, sur site (Chatuzange-le-Goubet (Drôme)) et en laboratoire (essais à l'œdoperméamètre).

La couverture d'une installation de stockage de déchets de classe II est la structure qui a le plus de conséquences sur le devenir à moyen et long terme du site. En effet, celle-ci doit remplir de multiples fonctions: drainage des effluents liquides et gazeux, étanchéité, confinement des déchets, réhabilitation du site... Cette barrière doit également maintenir ses caractéristiques durant toute la durée de vie du site et ceci malgré les différentes sollicitations auxquelles elle est soumise : mécaniques (tassements différentiels), climatiques (cycles de gel/dégel et dessiccation/humidification), chimiques (forte capacité d'échange cationique des matériaux argileux), hydrauliques (ruissellement de l'eau d'infiltration) (CFG Fascicule 12). Les matériaux constituant la couche d'étanchéité sont des matériaux naturels (argiles seules ou traitées par bentonite) ou composites (géomembranes, géosynthétiques bentonitiques).

2. Expérimentation sur site

L'instrumentation d'une couverture a été effectuée sur le site des « Petits Pourcieux » à Chatuzange-le-Goubet (Barral et al. 2006).

Cette instrumentation comporte deux « volets » et permet l'étude conjointe :

- du comportement hydraulique de la couverture avec la quantification du volume d'eau qui pénètre dans le massif de déchet et le bilan hydrique complet de celle-ci.
- des émissions de biogaz avec la qualification et quantification du biogaz émis.

2.1. Complexe de couverture étudié

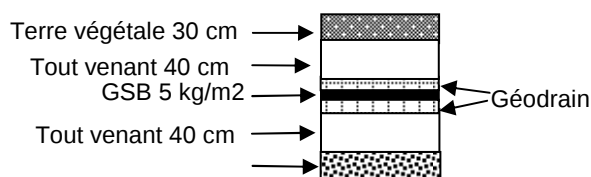


Figure 1. Configuration de la couverture définitive de l'alvéole

Le GéoSynthétique Bentonitique (GSB) constitue la couche d'étanchéité définitive de cette couverture (**Figure 1.**). Les GSB assurent leur fonction étanchéité après hydratation et confinement (CFG fascicule 12).

2.2. Etude des transferts de fluides dans un complexe de couverture

2.2.1. Flux hydriques

Afin de connaître les volumes d'eau qui traversent les GSB, six lysimètres ont été placés sous deux types de GSB aiguilletés (trois lysimètres par type de GSB: sec, préhydraté, sous recouvrement) (Poignard 2000). Les lysimètres sont constitués par la superposition d'une géomembrane et d'un géocomposite de drainage et ont chacun une surface environ égale à 34 m^2 ($17\text{m} \times 2\text{m}$). Ils sont reliés par des tuyaux à des réservoirs situés en bordure de l'alvéole dans un regard (**Photo 1.**).



Photo 1. Lysimètre

Six piézomètres sont installés à différents endroits autour des lysimètres. Ces piézomètres sont utiles pour estimer la charge hydraulique qui s'applique sur le GSB quand il pleut.

Un pluviomètre sur le site informe sur les précipitations.

Cette instrumentation permet de suivre l'évolution du flux d'eau entrant dans la couverture au cours du temps.

Sur le graphe représentant l'eau récoltée dans les différents lysimètres on constate que les volumes d'eau ont mis plusieurs mois avant de présenter une évolution plus stable (**Figure 2.**). Ce temps de stabilisation correspond au temps nécessaire aux GSB pour se saturer.

Si l'on compare les volumes d'eau récoltés avec la pluviométrie, tous les GSB ont limité de façon considérable l'entrée de l'eau de pluie dans le massif de déchets. En effet, la fraction de l'eau de pluie ayant traversé le GSB varie entre 0.2% pour le plus faible et 0.5% pour le plus fort.

Si on effectue le calcul du coefficient de perméabilité entre les deux dernières dates de relevé des mesures (0.12 L/m^2 pour 27 jours au maximum) on trouve: $k = 5 \times 10^{-11} \text{ m/s}$ pour gradient de 1 et $k = 2.5 \times 10^{-11} \text{ m/s}$ pour un gradient de 2. Nous

verrons dans une deuxième partie que ce résultat est proche de la perméabilité du GSB déterminée en laboratoire.

De plus, on observe déjà plusieurs tendances sur les volumes recueillis par les lysimètres en fonction des différentes configurations du GSB qui les recouvre. En effet, les deux lysimètres situés sous les GSB qui ont été hydratés lors de leur pose ont reçu des volumes inférieurs à ceux situés sous les GSB secs. Ceci confirme in situ les nombreux résultats obtenus en laboratoire par des études précédentes ((Didier et al. 1998), (Lin et al. 2000)) et qui ont abouti à la recommandation de l'hydratation des GSB lors de leur pose (CFG Fascicule 12).

De même, les lysimètres situés sous les recouvrements présentent des volumes d'eau très faibles. En effet, les recouvrements sont traités lors de la pose du GSB et l'eau de pluie doit ainsi traverser deux épaisseurs de GSB au lieu d'une sur toute la largeur du recouvrement, ce qui limite les infiltrations.

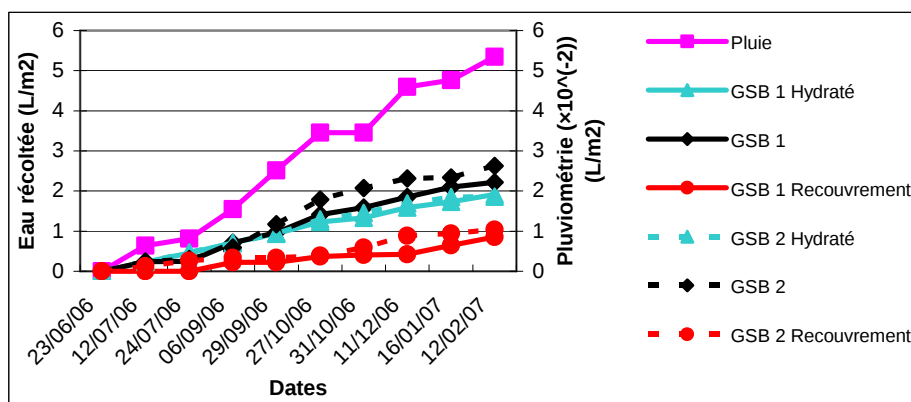


Figure 2. Cumul d'eau récolté dans les lysimètres

La quantité d'eau ayant percolée au travers du GSB est très inférieure au volume des vides. L'eau qui a servi au gonflement du GSB n'a donc pas encore été renouvelée à ce jour.

2.2.2. Flux de gaz

La deuxième partie de cette expérimentation concerne l'étude des flux de biogaz émis par les déchets et traversant le géosynthétique bentonitique grâce à deux dispositifs de chambre à flux.

Le premier se situe sous le GSB et se construit comme un lysimètre (**Figure 3**). C'est une véritable « poche » étanche sous le GSB qui, lorsqu'elle est mise sous pression d'azote, permet la détermination du coefficient de perméabilité au gaz par deux méthodes :

- en régime permanent par mesure du débit et des pressions amont et aval (norme Afnor XPP 84-707).
- en régime variable en suivant la chute de pression de l'azote dans la poche (Li et al. 2003).

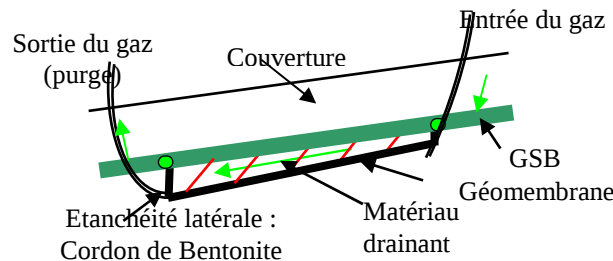
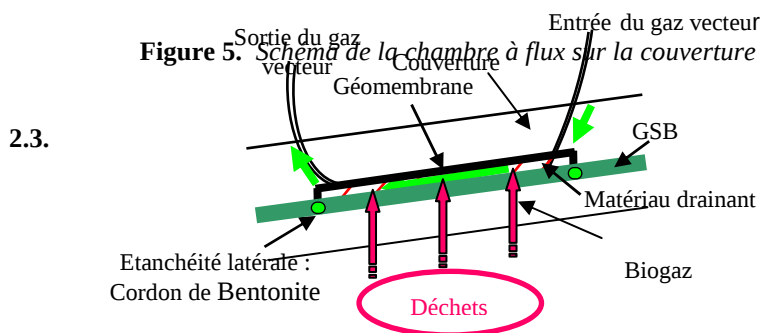


Figure 3. Schéma de la chambre à flux sous la couverture

Le deuxième dispositif se situe sur le GSB et est construit comme un lysimètre inversé (**Figure 4.**). Un balayage à l'azote est mis en place dans cette « poche » avec une pompe. Un analyseur de gaz dose alors le CH_4 et le H_2S (ou d'autres gaz), provenant de la décomposition des déchets et traversant le GSB.



Gradient de température

Trois thermocouples permettent de suivre l'évolution de la température à différentes profondeurs de la couverture. En effet, les matériaux de couverture sont sensibles aux variations climatiques. Des cycles de gel/dégel ou encore de dessiccation/humidification peuvent modifier la structure des matériaux constitutifs du complexe multicouche en place et donc sa perméabilité.

On constate un amortissement des variations de la température en fonction de la profondeur du capteur (**Figure 5., Figure 6.**)

Le front de température au niveau du GSB varie entre 8°C en période de gel et 35°C lors de la canicule. De plus, on remarque que ces températures sont plus élevées que celles relevées à 46 cm de profondeur. Ceci est sûrement dû à la production de biogaz par le massif de déchets sous-jacent. Cette plage de variation de température réduite permet au GSB de ne pas subir de gel en hiver et de dessiccation en été. Les matériaux de confinement situés sur le GSB ont donc une épaisseur suffisante pour permettre sa protection.

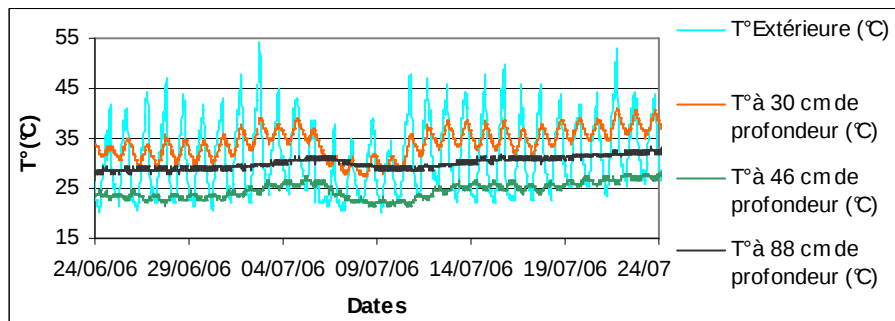


Figure 5. Températures au cours du mois de juillet 2006

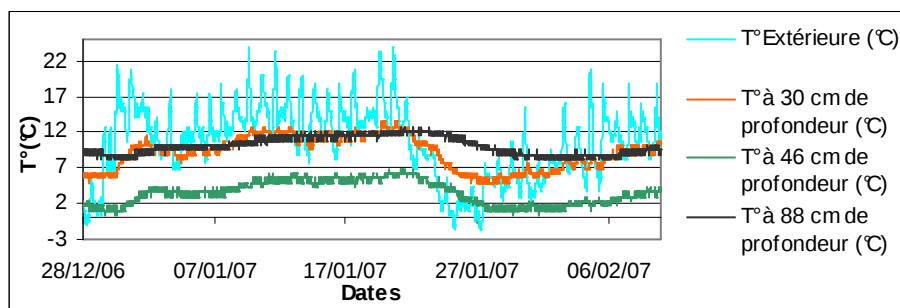


Figure 6. Températures de fin décembre à mi-février 2007

De plus, on remarque aussi, lors des périodes de gel accompagné de pluie, la présence d'un front froid persistant à la profondeur de 46 cm. A cette profondeur la sonde de température est située dans le tout venant. Ce matériau est relativement drainant et il est probable qu'il se forme de la glace autour de la sonde.

2.4. Suivi des tassements

Le suivi des tassements différentiels se fera grâce aux plans topographiques du casier réalisé par l'exploitant deux fois par an. Ce suivi est important car les tassements des déchets, dégradent non seulement la couverture mais risquent aussi de nuire au bon fonctionnement de notre dispositif expérimental.

3. Expérimentation en laboratoire

L'étude complémentaire en laboratoire des effets du vieillissement de cette couverture est actuellement menée. Des essais à l'œdoperméamètre sont effectués sur des échantillons de GSB issus du site en vue de suivre la modification des composants de la bentonite au cours du temps et de déterminer ainsi son impact sur les propriétés d'étanchéité du GSB.

3.1. Essais en œdoperméamètre sur les GSB

Les essais sur les GSB sont réalisés selon la norme XPP 84-705 dans un oedoperméamètre de diamètre 250 mm. La cellule est constituée de deux parties, l'embase et le piston en PEHD, équipés d'une pierre poreuse de 200 mm de diamètre. Un échantillon de GSB de 250 mm est placé en fond de l'embase et recouvert par le piston (**Figure 7.**). Une contrainte normale de 12kPa correspondant à la contrainte normale présente in situ sur le GSB est appliquée durant toute la durée de l'essai. L'alimentation en solution de l'échantillon se fait par un réservoir de type bouteille de Mariotte qui permet de maintenir une charge hydraulique constante et de mesurer le volume entrant. La mesure de la déformation verticale de l'échantillon se fait par l'intermédiaire d'un capteur de déplacement fixé à l'embase et reposant sur le piston. La cinétique d'absorption d'eau et la perméabilité sont données par le suivi dans le temps des volumes entrant et sortant.

Légende

- 1 mesure du déplacement vertical
- 2 dispositif de chargement vertical
- 3 piston
- 4 embase inférieure
- 5 disques drainants et papiers filtre
- 6 contrôleur pression-volume

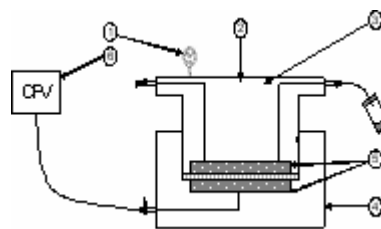


Figure 7. Oedoperméamètre

L'essai de perméabilité commence lorsque la phase de saturation-gonflement est considérée comme achevée, c'est-à-dire quand $\Delta e > 0.9 \Delta e_{\infty}$. Le critère d'arrêt de cette phase est déterminé graphiquement à partir du tracé de la courbe représentant l'évolution du gonflement en fonction du temps (**Figure 8.**).

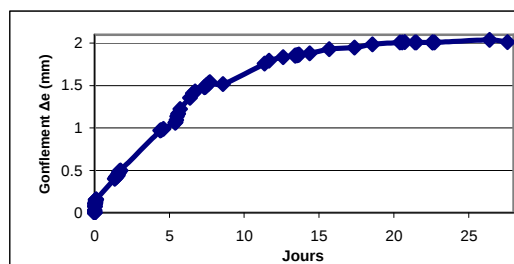


Figure 8. Gonflement de l'échantillon au cours du temps

Les volumes traversant l'éprouvette sont mesurés pour au moins trois valeurs de la perte de charge hydraulique ($\Delta h = 30, 60$ et 100 cm dans notre cas). Pour le GSB 2 le gonflement pour le temps infini est de 2.25 mm.

Après avoir tracé le flux en fonction des trois charges et constaté que la courbe obtenue est une droite passant par l'origine, on peut appliquer la loi de Darcy. Le coefficient de perméabilité k obtenu est alors de l'ordre de 3.6×10^{-11} m/s.

Ces premiers essais en oedoperméamètre permettent de caractériser les GSB dans leur état initial. Ils seront suivis par des essais de performance qui permettront de voir le comportement du GSB lors d'un vieillissement accéléré avec l'eau de percolation à travers les deux couches de sols de la couverture.

4. Conclusions

Cette instrumentation installée dans l'étanchéité composite d'une alvéole de déchets sur l'ISD de Chatuzange-le-Goubet permet de suivre l'évolution des flux d'eau et de gaz au travers des GSB. Les premiers résultats montrent que les flux hydriques pénétrant dans le massif de déchets sont très faibles. Le GSB mis en place est aussi protégé du gel et de la dessiccation. Ces résultats sont préliminaires et doivent être confirmés sur le long terme, lors du vieillissement de la barrière.

D'autre part, les essais en laboratoire qui ont permis de caractériser l'état initial du GSB devront se poursuivre afin d'évaluer d'éventuelles pertes de performance en accélérant les transferts hydrauliques et les échanges ioniques par augmentation du gradient hydraulique.

5. Bibliographie

- AFNOR NF XP P 84-705 (2002), Détermination à l'oedoperméamètre des caractéristiques de gonflement, absorption, perméabilité à l'eau sous contrainte de géosynthétiques bentonitiques.
- AFNOR NF XP P 84-707 (2002), Perméabilité au gaz des géosynthétiques bentonitiques partiellement saturés.
- Barral, C., Djéran-Maigre, I., Pierson, P., Didier, G., Hidra, M. (2006), "Etude expérimentale des transferts de gaz et d'eau dans les couvertures de centres de stockage de déchets ménagers", *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de L'ingénieur*, Lyon, France.
- CFG, Comité Français de Géosynthétiques (1998), Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par Géosynthétiques Bentonitiques, Fascicule 12.
- Didier, G., Norotte, V. (1998), "Mise en oeuvre des Géosynthétiques bentonitiques (GSB)", *Géo-Bento, Etanchéité par géosynthétiques bentonitiques: état de l'art*, Paris, France.
- Li H., Jiao J.J., Luk M. (2004), "A failing-pressure method for measuring air permeability of asphalt in laboratory", *Journal of Hydrology*, 286 (2004) 69-77.
- Lin, L. C., Benson, C.H., Members, ASCE (2000), "Effect of Wet-Dry Cycling on Swelling and Hydraulic Conductivity of GCLs", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(1): 40-49.
- Poignard, S. (2000), Etude des flux hydriques dans un sol non saturé hétérogène: application aux couvertures de décharge, Thèse de doctorat de Paris VI, 233 p.