

## Etudes des flux hydriques dans des géomatériaux d'étanchéités en laboratoire et in situ

Camille Barral\*\*\*, Irini Djeran-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  
barral.camille@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 hydriques au travers des GSB. Les résultats préliminaires montrent que les flux d'eau de pluie pénétrant dans le massif de déchets sont très faibles. Ces résultats devront être confirmés sur le long terme, lors du vieillissement de la barrière.*

*De plus des analyses chimiques et des essais en laboratoire sur des œdoperméamètres 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. These results will have to be confirmed on the long term, at the time of the ageing of the barrier.*

*Moreover, chemical analyses and 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-clefs : Géosynthétique bentonitique; perméabilité; gonflement

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

La couverture d'une installation de stockage de déchets de classe II joue un rôle important sur l'impact du site sur son environnement. En effet, celle-ci doit assurer le confinement des déchets, contrôler les infiltrations d'eau, limiter les rejets dans l'atmosphère du biogaz émis par les déchets et permettre la réhabilitation du site. Cette barrière doit également conserver ses caractéristiques durant toute la durée de vie du site et ceci malgré les sollicitations multiples 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).

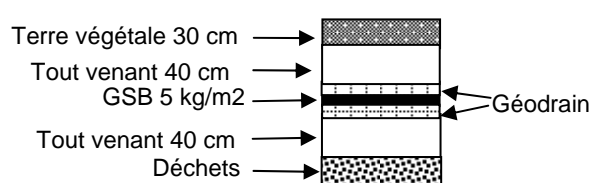
Dans le cadre du Cluster Région Environnement Rhône-Alpin et du pôle Envirhônalp, les laboratoires de recherche LGCIE (Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale)

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, analyses chimiques).

## 2. Expérimentation sur site

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

### 2.1 Complexe de couverture étudié



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).

Figure-1. Configuration de la couverture définitive

### 2.2 Résumé de l'instrumentation

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) (Figure-2). 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<sup>2</sup> (17m×2m). Ils sont reliés par des tuyaux à des réservoirs situés en bordure de l'alvéole dans un regard (Photo-1) (Poignard 2000).

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.

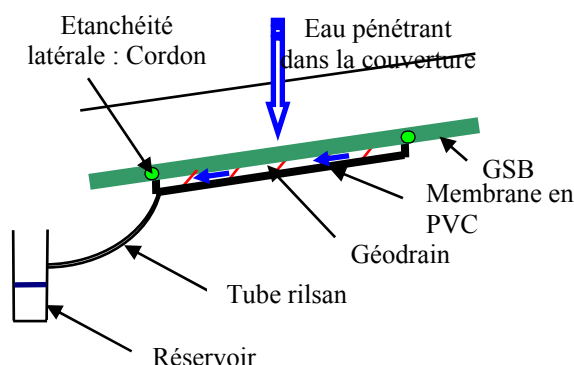


Figure-2. Schéma du lysimètre sous la couverture

Trois thermocouples permettent de suivre l'évolution de la température à différentes profondeurs de la couverture.



Photo-1. Lysimètre

Le suivi des tassements différentiels se fera grâce aux plans topographiques du casier réalisé par l'exploitant deux fois par an.

### 2.3 Etude des transferts d'eau

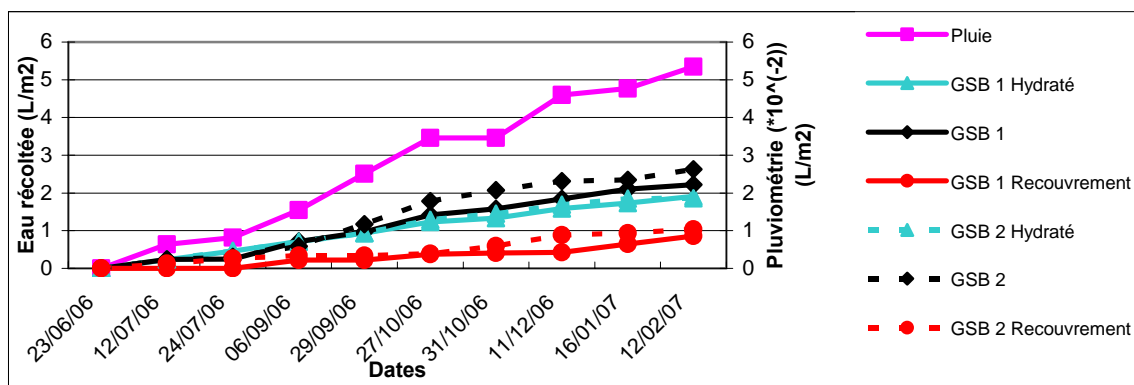
Sur le graphe représentant l'eau récoltée dans les différents lysimètres (Graphe-1) on constate que les volumes d'eau ont mis plusieurs mois avant de présenter une évolution plus stable. Ce temps de stabilisation correspond au temps nécessaire aux GSB pour se saturer.

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 ( $0.12\text{L/m}^2$  pour 27 jours au maximum) on trouve:  $k= 5\times 10^{-11}\text{m/s}$  pour un 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 1998), (Lin 2000), (Melchior 2002)) et qui ont abouti à la recommandation de l'hydratation des GSB lors de leur pose (CFG Fascicule 12).

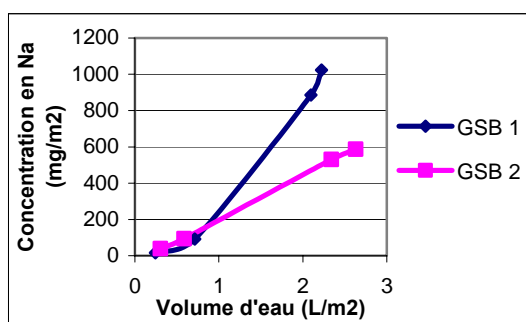
De même, les lysimètres situés sous les recouvrements présentent des volumes d'eau très faibles. En effet, les recouvrements sont traités lors de la pose du GSB et l'eau de pluie doit ainsi traverser deux épaisseurs de GSB au lieu d'une sur toute la largeur du recouvrement, ce qui limite les infiltrations.



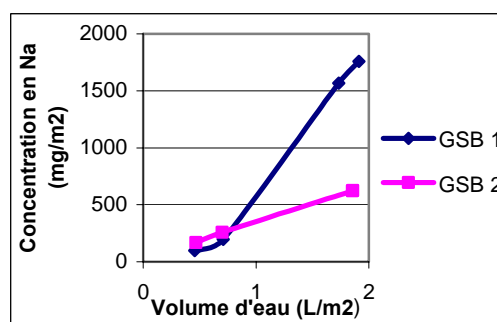
Graphe-1. Cumul d'eau récoltée dans les lysimètres (L/m2)

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.

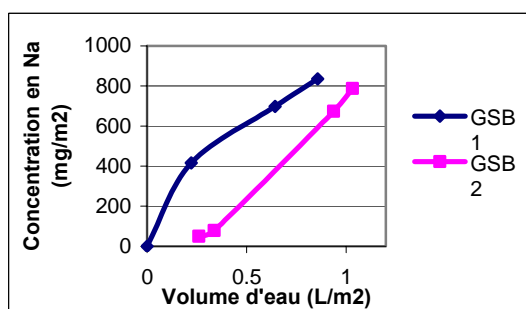
Des analyses chimiques mensuelles des échantillons d'eau recueillis dans les lysimètres ainsi que de l'eau de pluie sont effectuées. Après filtration, les anions sont analysés par chromatographie ionique et les cations par ICP-AES.



Graphe-2. Concentration en Na en fonction du volume d'eau cumulé pour les deux GSB secs



Graphe-3. Concentration en Na en fonction du volume d'eau cumulé pour les deux GSB hydratés



Graphe-4. Concentration en Na en fonction du volume d'eau cumulé pour les deux GSB en zone de recouvrement

A titre d'exemple, le sodium étant le cation qui confère à la bentonite ses propriétés de gonflement, nous représentons la quantité de sodium retrouvé dans les volumes d'eau recueillis dans les lysimètres (Graphe-2,3,4).

Un essai de lixiviation de la bentonite 2 (GSB 2) suivant la norme NFEN 124572 avec un rapport Liquide sur solide de 25, avec agitation rotative durant 24h, donne une quantité de Na de l'ordre de 4g/kg de bentonite soit 20g de Na/m<sup>2</sup> pour un GSB ayant une masse surfacique de 5kg/m<sup>2</sup>.

D'après les courbes précédentes on trouve au maximum une quantité de Na lessivée égale à 0.6g de Na/m<sup>2</sup>, valeur largement inférieure à la quantité de Na existante.

Sur site les phénomènes hydriques sont très lents et le suivi des mesures doit donc se poursuivre afin de confirmer les tendances présentées précédemment.

### 3 Expérimentation en laboratoire

L'étude complémentaire en laboratoire des effets du vieillissement de cette couverture est actuellement menée.

Des analyses chimiques ainsi que des essais à l'œdoperméamètre sont effectués sur des échantillons d'eau et 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 XP P 84-705 dans un œdoperméamètre 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 (Photo-2).

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.



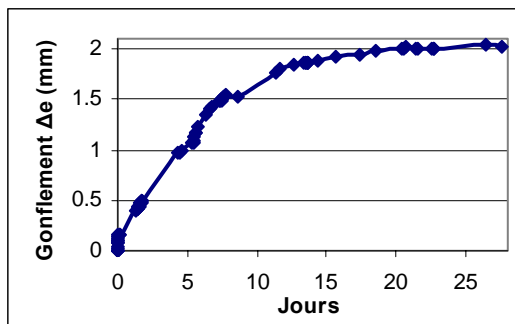
Photo-2

$$\text{Pour le gonflement : } \Delta e = \Delta e_{\infty} \frac{t}{t_x + t}$$

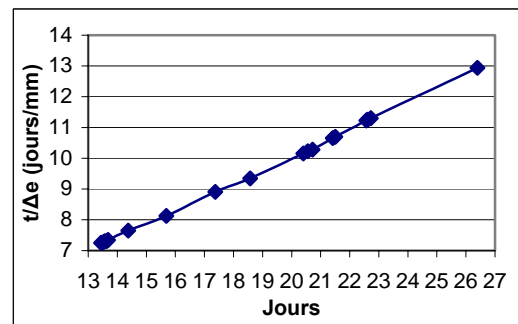
Où  $\Delta e$  est le gonflement de l'éprouvette (mm),  $t$  est le temps (jour),  $\Delta e_{\infty}$  le gonflement pour un temps infini (mm),  $t_x$  le temps correspondant à  $x\%$  du gonflement pour un temps infini.

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 (Graphe-5, Graphe-6).

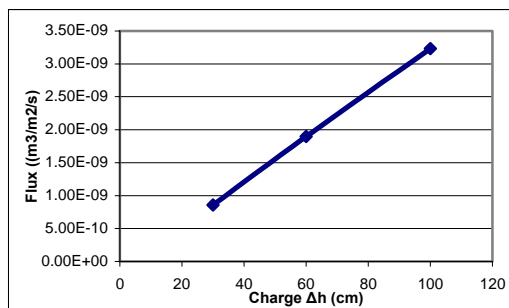
Les volumes traversant l'éprouvette sont mesurés pour au moins trois valeurs de la perte de charge hydraulique ( $\Delta h = 30, 60$  et  $100$  cm dans notre cas).



Graphe-5. Gonflement de l'échantillon au cours du temps



Graphe-6. Présentation pour le calcul du temps de gonflement infini



Graphe-7. Flux en fonction de la charge.

Le flux  $F$  au travers du GSB est calculé à partir de la relation suivante :  $F = \frac{V}{\Delta t \cdot A}$

( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ )

Où  $V$  est le volume entrant ou sortant ( $\text{m}^3$ ), mesuré pendant une durée  $\Delta t$  (s),  $A$  est la surface de l'éprouvette concernée par l'écoulement ( $\text{m}^2$ ).

Le coefficient de perméabilité est ensuite calculé en utilisant la loi de Darcy :  $k = \frac{F}{i}$  (m/s)

Avec  $i$  le gradient hydraulique  $i = \frac{\Delta h}{e_f}$ ,  $e_f$  étant l'épaisseur finale de l'échantillon après la phase de gonflement.

Pour le GSB 2 le gonflement pour un 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 (Graphe-7). Le coefficient de perméabilité  $k$  obtenu est alors de l'ordre de  $3.6 \times 10^{-11}$  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 hydriques au travers des GSB. Les premiers résultats montrent que ces flux pénétrant dans le massif de déchets sont très faibles. 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.

Cette recherche sera aussi complétée par une étude in situ des flux de biogaz sur le même complexe de couverture.

#### Références

- 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.
- 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). Géobento, Etanchéité par géosynthétiques bentonitiques: état de l'art, Paris, France.
- 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.
- Melchior, S. (2002). Field studies and excavations of geosynthetic clay barriers in landfill covers. Proceedings of the international symposium in Nuremberg 2002, Nuremberg, Germany, A.A. Balkema.
- 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.