

# DISPOSITIFS D'ÉTANCHÉITÉ PAR GÉOSYNTHÉTIQUE BENTONITIQUE AU C.E.T.<sup>1</sup> DES HAUTES GAYEULLES (RENNES)

Gérard Didier\*, Véronique Norotte\*, Marc Deburax\*\*, Loïc Divanac'h\*\*\*

\*Maître de conférences, INSA Lyon, Ingénieur de recherche, INSA Lyon, \*\*Directeur société Dart, \*\*\*Ingénieur en chef, Directeur des Rues, Ville de Rennes

Les géosynthétiques bentonitiques sont des produits manufacturés servant de barrière hydraulique et formés par une couche de bentonite de faible perméabilité, comprise entre des géotextiles et/ou une géomembrane, l'ensemble étant cousu, aiguilleté ou collé.

Un géosynthétique bentonitique de type Bentomat (aiguilleté) a été utilisé comme couche étanche dans les différents dispositifs d'étanchéité mis en place en fond, parois et couverture d'un casier au centre d'enfouissement technique des Hautes-Gayeulles. Nous présentons ci-après une description de ces dispositifs, les contrôles effectués sur le géosynthétique bentonitique et sa pose et enfin l'expérimentation réalisée sur la couverture.

The geosynthetic clay liner are factory manufactured products use for as hydraulic barriers, consisting of a small permeability bentonite layer sandwiched between geotextiles and/or geomembrane, which are held together by stitches, needlepunching or adhesive. A « Bentomat » GCL (needlepunched) was used as liner, cover and on the slopes of the waste landfill of Hautes-Gayeulles. It is presented here a description of the liner systems, the quality control of the GCL, its placement and the field testing performed on the cover.

## INTRODUCTION

C'est en 1985 que les Géosynthétiques Bentonitiques, notés GB par la suite, ont été utilisés pour la première fois aux USA dans un centre de stockage de déchets en remplacement d'une géomembrane. Les GB sont utilisés en France comme barrière hydraulique depuis environ 6 ans. Leurs performances reposent sur le très fort potentiel de gonflement de la bentonite comprise entre deux géotextiles. Leur perméabilité, fonction de leur nature et de la contrainte de confinement, varie quand ils sont saturés et confinés entre  $5.10^{-11}$  et  $5.10^{-12}$  m/s.

L'assemblage du géotextile avec la bentonite peut se faire par ajout d'adhésif, par couturage ou par aiguilletage.

Sur le site du centre d'enfouissement technique des Hautes-Gayeulles, c'est le Bentomat qui a été retenu pour remplir le rôle de barrière active.

Nous présentons ci-après les dispositifs d'étanchéité par GB retenus, les contrôles possibles en vue d'un PAQ et l'expérimentation réalisée sur la couverture.

## LES DISPOSITIFS D'ÉTANCHÉITÉ RETENUS

Les casiers du CET des Hautes Gayeulles ont une superficie moyenne de 6000 m<sup>2</sup>, une profondeur de l'ordre de 4 m et sont constitués d'un dispositif d'étanchéité drainage multicouche de fond (a) et d'un dispositif d'étanchéité simple de couverture (b).

### Dispositifs de fond et parois

Le dispositif d'étanchéité drainage mis en place en fond du premier casier au printemps 93 est constitué des éléments suivants (de bas en haut) :

- drainage inférieur,
- couche de protection passive : mélange sol/bentonite,
- couche de protection active : GB,
- couche de confinement,
- drainage supérieur.

Le drainage inférieur a pour rôle d'intercepter les éventuelles infiltrations au travers du dispositif étanche.

La couche de protection passive est constituée par le sol du site traité à la bentonite et compactée en une couche de 30 cm d'épaisseur. Ce traitement a fait l'objet d'une étude de laboratoire préalable pour déterminer les caractéristiques optimales du mélange et définir les conditions de mise en œuvre.



En conclusion de l'étude, il était recommandé de faire un traitement à 4 % en bentonite (la bentonite utilisée étant l'étanchéité P de la société Laviosa) pour atteindre un coefficient de perméabilité inférieur à  $1.10^{-9}$  m/s avec un coefficient de sécurité. La densité sèche du mélange étant égale à 1,725 (énergie Proctor modifié), pour une épaisseur de couche traitée de 30 cm, il faut épandre de l'ordre de 21 kg de bentonite au mètre carré.

La protection active est constituée par le GB. Elle supporte le dispositif de drainage des lixiviats, réduisant ainsi la charge hydraulique de lixiviats sur le fond. Le dispositif étant dimensionné pour que cette charge reste inférieure à 0,3 m. Elle contribue d'autre part à réduire le débit de fuite global. Nous calculons le débit de fuite au travers de la double protection (active et passive). Pour cela, nous utilisons les valeurs indiquées sur le schéma suivant qui proviennent d'essais réalisés au laboratoire sur des échantillons dans le cadre de contrôles de conformité.

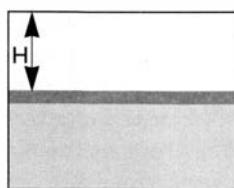
Le débit infiltré est de 0,3 litre/jour/hectare.

Le Bentomat contient de la bentonite sodique naturelle à raison de 5 kg/m<sup>2</sup> au minimum. La bentonite est comprise entre deux géotextiles en polypropylène, un non tissé en contact avec le support et un tissé sur la face supérieure. C'est ce qui lui confère la propriété d'être auto-cicatrisant. La bentonite en gonflant a la possibilité de refermer les éventuels défauts dans le dispositif d'étanchéité. Le GB utilisé se présente sous forme de rouleaux (4,57 m x 38,10 m) pesant plus d'une tonne.

Les avantages de cette couche étanche sont :

- Une mise en place rapide et facile (assemblage par simple recouvrement et ajout de bentonite) nécessitant peu d'engins et de personnel (compacteur, pelle prolongée par une potence et l'aide de 3 personnes).

Sur le site du CET des Hautes-Gayeulles la pose du GB sur environ 6 000 m<sup>2</sup> a pris 4 jours. Ce temps peut être encore réduit en ayant une surface de pose ne nécessitant pas de



Charge hydraulique  $H = 30$  cm  
 GB : épaisseur  $e_1 = 0,8$  cm,  
 $K_1 = 5.10^{-12}$  m/s  
 Sol traité :  
 épaisseur  $e_2 = 30$  cm,  
 $K_2 = 1.10^{-9}$  m/s

reprise.

- Un bon placage avec la couche support qui limite en cas d'endommagement la surface concernée par le débit de fuite.

La couche de confinement est constituée par le matériau limono-schisteux du site mis en place en une couche d'environ 50 cm compactée. Sur les talus ayant une pente de 1/1 l'utilisation d'une grave ciment sur une épaisseur de 20 cm a été retenue : elle adhère bien au support, est stable et quasi insensible à l'érosion pendant le durée d'exploitation du casier.

Cette couche a pour rôle de confiner le GB et ainsi de garantir son fonctionnement et d'assurer une protection



du GB vis-à-vis des déchets et d'éviter une trop grande variation de la teneur en eau.

- Le drainage supérieur a pour rôle de limiter la charge hydraulique sur l'étanchéité et ainsi de réduire le volume infiltré.

### Dispositif de couverture

Le système de couverture mis en place au CET des Hautes-Gayeulles a pour objectif de limiter l'infiltration d'eau dans les déchets et les émissions de biogaz dans l'environnement. Au dessus du réseau de drainage des biogaz, la couverture comporte :

- une couche support,
- le GB,
- une couche de sol.

#### La couche support

Nous sommes sur un casier de stockage d'ordures ménagères. Avant de poser le GB, les déchets ont été couverts par une couche de limon (du site) ayant après compactage une très légère pente de l'ordre de 3 % dirigée vers l'extérieur du casier. La couche support doit présenter une surface plane et une bonne portance.

#### La couche étanche

Le GB utilisé se présente sous forme de rouleaux de 4,57 m de large sur 38,1 m de long (174,11 m<sup>2</sup>). Les assemblages entre lés constituent des points délicats, dans le cas d'une couverture de décharge où des tassements différentiels sont prévisibles. Ces tassements sont à l'origine d'une mise en traction de l'étanchéité réduite en partie dans le cas des GB par un déplacement des lés au droit de l'assemblage. Ainsi le GB conserve ses propriétés d'étanchéité mais il faut prévoir un recouvrement entre lés suffisant.

Pour cette couverture, l'épaisseur des déchets étant faible (inférieure à 5 m), il a été demandé, en utilisant les conclusions de la thèse de Lagata (déformation  $\Delta l/l$  de 12 à 35 %), de respecter un recouvrement minimal de 25 cm suivant la longueur et de 60 cm suivant la largeur.

#### La couche de sol de couverture

Elle est constituée par des limons schisteux du site compactés en une couche de 30 cm d'épaisseur recouverts par une couche de terre végétale de l'ordre de 50 cm.

Elle a pour rôle de confiner le GB et de le maintenir dans un état saturé. Par ailleurs, elle sert de support à la végétation, favorise l'évapotranspiration et limite l'érosion.

L'épaisseur de sol sur le GB suffit à le mettre hors gel, bien que le GB ne soit pas affecté par les cycles de gel et dégel.

### CONTRÔLES EFFECTUÉS SUR LE GÉOSYNTHÉTIQUE BENTONITIQUE

Les performances des géosynthétiques bentonitiques sont tributaires de l'état du support, de la mise en œuvre, du type d'ancrage, du confinement etc. La conformité de ces facteurs est assurée par un contrôle *in situ* complété par un contrôle de la qualité du produit à partir d'essais.

#### Contrôle/Mise en œuvre

Vu leur poids, les rouleaux sont manutentionnés à l'aide d'engins équipés d'un système de levage et/ou de déroulage adapté.

Nous indiquons ci-après les principes de pose élémentaires à respecter :

- support compacté présentant une surface plane,
- déroulement du GB tendu (pas de plis),
- déroulage sur les talus dans le sens de la plus grande pente
- contrôle des ancrages,
- assemblage par recouvrement et ajout d'un cordon de 1 kg au mètre linéaire de bentonite en vrac,
- en cas d'endommagements, pose d'une rustine ou remplacement du GB,
- mise en place d'un confinement le plus rapidement possible avec un matériau non poinçonnant.

Une personne est présente en permanence sur le chantier pour vérifier le respect de ces procédures de pose et apporter une assistance technique auprès de l'entreprise en particulier lors du raccordement du GB aux ouvrages annexes. Contrôle/Conformité.

Nous décrivons ci-après les essais réalisés dans le contexte propre du CET des Hautes Gayeulles. D'autres essais peuvent être effectués en fonction du cadre de l'utilisation du GB et des exigences, ainsi les essais de résistance à la traction, de frottement interface géotextile-support ou géotextile-confinement, de poinçonnement...

#### Essais de conformité du GB

Des prélèvements sont réalisés tous les 1500 m<sup>2</sup>. Les essais sont réalisés le plus souvent au laboratoire. Ils ont pour but de vérifier la conformité de certains paramètres (gonflement, masse surfacique du GB, teneur en bentonite, épaisseur...) avec les valeurs annoncées par le fabricant.

#### Essais de performance

Cet essai consiste à saturer un échantillon de GB sous une contrainte égale à celle du confinement, à suivre son gonflement puis à mesurer sa perméabilité. Cet essai permet de vérifier le fonctionnement du produit en le plaçant dans

des conditions proches du chantier (contraintes, matériau de confinement...). La cellule utilisée est un œdoperméamètre de 25 cm de diamètre en polyéthylène permettant de réaliser des essais de perméabilité avec des lixiviats. L'essai effectué sous une contrainte de 8 kPa a permis de mesurer un coefficient de perméabilité de  $4.10^{-12}$  m/s.

### EXPÉRIMENTATION EN COUVERTURE

L'expérimentation concerne la couverture du premier casier réalisé au CET des Hautes-Gayeulles. Le but est de contrôler l'efficacité du dispositif de d'étanchéité, mis en place en juillet 95, et de suivre l'évolution de ses performances dans le temps, c'est-à-dire suite à des sollicitations thermiques (gel, dégel, dessiccation...), physiques (charge d'eau liée aux pluies), mécaniques (tassement différentiel) ou autre. Pour cela un système d'étanchéité drainage, appelé lysimètre, est placé sous la couverture.

#### Réalisation

Les lysimètres réalisés ont pour objectif d'étudier :

- le comportement d'un assemblage (lysimètre - noté A - au droit d'une zone de recouvrement),
- le caractère auto-cicatrisant du Bentomat (lysimètre - noté B - au droit du Bentomat endommagé volontairement).

#### Lysimètre (A) :

Le schéma de principe est présenté figure 1.

Ce lysimètre repose sur la couche support plane bien fermée. Il est constitué d'un film étanche de 5 m de large recouvert dans sa partie centrale par un géodrain de 3 m de large. La zone de recouvrement longitudinal (25 cm) entre les deux lés se situe dans la partie médiane du géodrain. Une zone de recouvrement transversal (60 cm) entre les deux lés se situe à 3 m du point bas du lysimètre. L'ensemble épouse la pente du support qui est de 2,9 % dirigée vers l'extérieur du casier.

L'étanchéité en bordure du lysimètre est réalisée par un cordon de bentonite préalablement humidifié constituant une pâte fluide qui pénètre très rapidement dans le géotextile inférieur non tissé du GB et un cordon supplémentaire de bentonite en vrac pour conforter l'efficacité à long terme. La pente générale du lysimètre permet à l'éventuel débit d'infiltration au travers du dispositif d'étanchéité d'être collec-

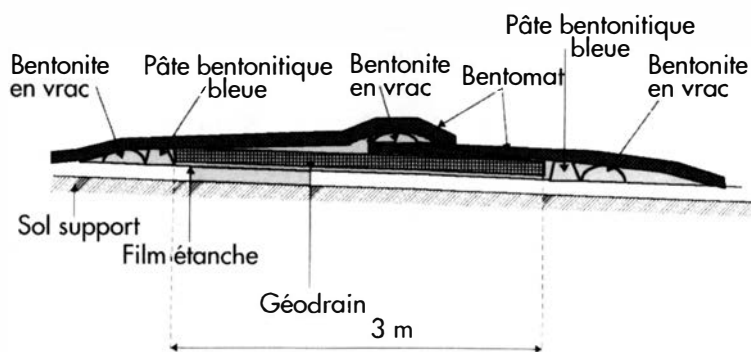


Figure 1 : Schéma de principe



De gauche à droite sont visibles : le sol support, le film étanche, un cordon de bentonite en vrac, une bande de bentonite en pâte, le géotextile drainant, le Bentomat en partie médiane de la bande drainante

té en un point bas où l'on a raccordé un tube rislan de diamètre 8 mm relié à un réservoir placé un peu plus bas dans un regard extérieur.

La surface d'expérimentation concernée par (A) est de 69 m<sup>2</sup> et la longueur du recouvrement est de 26 m.

#### Lysimètre (B)

Une fente de 40 mm x 3 mm a été volontairement réalisée dans la partie médiane d'un lé. Sous ce défaut sont placés un géodrain et un film étanche. Ce dernier enveloppe le géodrain en bordure laissant apparente une fenêtre de 28 cm x 28 cm. De la pâte de bentonite assure l'étanchéité latérale. Au droit de la fente, on a placé au-dessus une couche de sable pour éviter un colmatage par le matériau limoneux du confinement.

La surface concernée par ce lysimètre est faible (0,08 m<sup>2</sup>).

#### Confinement

Le confinement est constitué par une couche de limon schisteux contenant quelques éléments granulaires surmontée par 50 cm de terre végétale. Son épaisseur au droit des lysimètres est voisine de 80 cm, ce qui a été confirmé par une autopsie effectuée en mars 96.

#### Mesures - Exploitation

Un relevé régulier (hebdomadaire) du niveau de l'eau dans les réservoirs permet de calculer le débit de fuite de chaque configuration et ainsi de suivre les performances du GB dans le temps.

Afin d'interpréter les résultats, il a été demandé de collecter en parallèle les données pluviométriques et de faire des relevés topographiques au droit du lysimètre (A), au moins une fois par an, afin d'en déduire les éventuels tassements différentiels.

#### Relevé topographique

Les tassements mesurés en couverture de décharge et qui nous ont été transmis en mars 96 (soit 8 mois après la réalisation de la couverture) varient de 1 à 3 cm. Ces valeurs faibles n'entraînent pas de déplacements notables au niveau des assemblages.

#### Pluviométrie, débit d'eau infiltrée

La figure 2 présente l'évolution en fonction du temps des débits d'eau infiltrés intéressant le lysimètre (A) ainsi que les valeurs de la pluviométrie mesurées pendant les mêmes périodes.

Pour le lysimètre (B) le réservoir associé n'a présenté de l'eau qu'une fois (0,5 l). Il semblerait que la fente se soit à présent refermée.

Les résultats obtenus suggèrent les remarques suivantes :

- présence d'une phase de saturation (semaines 1 à 5) pendant laquelle il pleut mais on ne mesure pas de débit d'infiltration ;
- par la suite, concordances des pics de pluviométrie et d'infiltration. En effet, une forte pluie augmente la charge d'eau du fait de l'absence de niveau drainant ;
- permanence d'une épaisseur de sol saturé. En effet, lorsqu'il ne pleut pas ou peu (semaines 10 et 18), l'infiltration persiste.

Nous pouvons également évaluer les flux au travers du GB :

- le débit le plus faible est de 0,2 litre pour une semaine à travers une surface de 69 m<sup>2</sup> (23 m x 3 m) soit un flux de 4,8.10<sup>-12</sup> m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/s.

À ce moment (deuxième semaine d'octobre 95) la pluviométrie est nulle. La charge hydraulique sur le GB doit être très faible. Par conséquent, nous faisons l'hypothèse d'un gradient hydraulique (i) unitaire afin de pouvoir calculer le coefficient de perméabilité (K) du GB en appliquant la loi de Darcy.

Dans ce cas la valeur de la perméabilité obtenue est la valeur du flux soit 4,8.10<sup>-12</sup> m/s.

- le débit le plus élevé est de 3 l pour une semaine, soit un flux de 7,2.10<sup>-11</sup> m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/s.

En reprenant la valeur du coefficient de perméabilité estimé précédemment et connaissant l'épaisseur du GB (8 mm) grâce à l'autopsie réalisée (mars 96), on peut calculer la charge hydraulique sur le GB et ensuite l'épaisseur de sol saturé, soit 11,2 cm. Cette valeur est une moyenne sur une semaine.

#### CONCLUSION

Nous constatons au travers de cet exemple du centre d'enfouissement technique des Hautes-Gayeulles, la diversité des dispositifs d'étanchéité utilisant un même géosynthétique bentonitique en fonction de sa position (fond, paroi ou

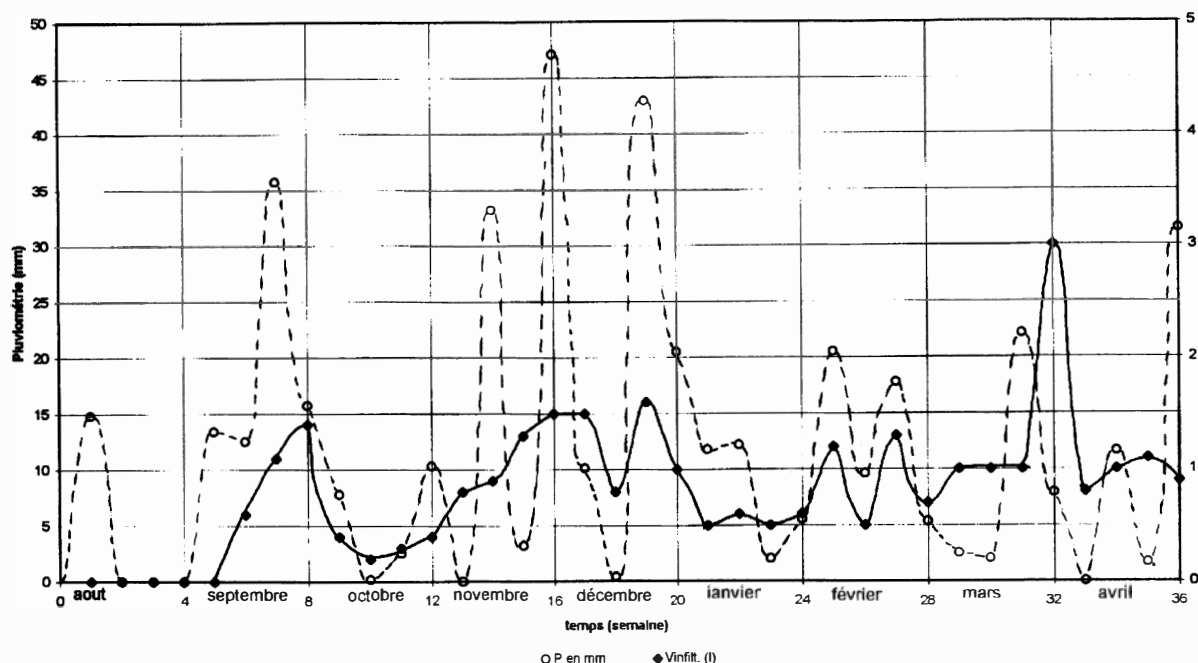


Figure 2 : Comparaison pluviométrie/infiltration - Couverture CET Hautes-Gayeulles

couverture) et des sollicitations auxquelles il est soumis. Nous constatons également une bonne concordance entre les résultats de perméabilité calculée à partir d'un essai de laboratoire dans le cadre d'un contrôle et à partir de relevés sur une expérimentation *in situ*. Cette expérimentation a permis de vérifier *in situ* les performances en grand du Bentomat sur 8 mois. Les flux infiltrés enregistrés sont en relation avec la pluviométrie (augmentation de la charge hydraulique). À cet égard, il serait intéressant de mesurer à diverses hauteurs au-dessus du GB la succion du sol à l'aide de tensiomètres permettant de suivre l'évolution de l'état hydrique du matériau de couverture dans le temps. C'est un prolongement de l'expérimentation que nous réaliserons prochainement.

**\* Gérard Didier, Véronique Norotte**

INSA Lyon, URGC Géotechnique - Bâtiment 304 - 20, avenue Albert Einstein - 69621 Villeurbanne cedex

**\*\* Marc Deburaux**

Directeur société Dart - 76, rue Marius AUFAN - 92300 Levallois

**\*\*\* Loïc Divanac'h**

Ingénieur en chef, Directeur des Rues, Ville de Rennes - Direction des rues, service prestations et propreté publiques - 16, rue Jean-Marie Huchet - 35031 Rennes

Nous remercions « la ville de Rennes » qui nous a permis de mettre en place une expérimentation au CET des Hautes-Gayeulles et qui s'est chargée de relever régulièrement les informations nécessaires à l'exploitation.

**Note :**

I. CET : centre d'enfouissement technique

## Bibliographie

1. Didier G., Comeaga L., 1996, *Influence of initial hydration conditions on GCL leachate permeability*, symposium on Testing and acceptance Criteria for Geosynthetic Clay Liners, ASTM STP 1308, Atlanta (en cours de parution).
2. R.M. Koerner, 1994, *Designing with geosynthetics*, Prentice-Hall, p.783.
3. M.D. LaGatta, 1992, *Essais de conductivité hydraulique effectués sur des revêtements géosynthétiques à base d'argile soumis à un tassement différentiel*, Thèse de l'université du Texas à Austin.