

Comportement hydraulique d'un géosynthétique bentonitique dans des bassins de lagunage

Nathalie Touze-Foltz^a et Raynald Hatton^b

Dans le cadre de la réalisation d'un système complet d'assainissement collectif, une station de traitement des eaux usées par lagunage a été mise en œuvre. Cette station d'une capacité de 700 EH¹ est destinée à accueillir et traiter des effluents entièrement domestiques, issus d'un réseau séparatif (105 m³/j, 42 kgDBO5/j). La filière est constituée de trois bassins, le premier ayant une surface de 4 200 m² et les deux suivant une surface de 1 750 m². La hauteur d'eau nécessaire pour assurer un traitement convenable est de 1 m. La réalisation de ces bassins a débuté en octobre 2004.

Afin d'assurer un niveau d'étanchéité convenable pour les fonds de bassins et les talus (voir plus loin pour les éléments géotechniques), la solution retenue est l'utilisation d'un géosynthétique bentonitique (GSB) contenant de la bentonite sodique naturelle, confiné sous 5 kPa par le sol du site, soit environ 30 cm de matériau argilo-calcaire à blocs de silex. À l'issue de la réalisation, ces trois bassins ont été mis en eau, à l'aide d'eau claire, sous une charge hydraulique voisine de 1 m. Les trois bassins ont immédiatement présenté un défaut d'étanchéité dont l'origine a été recherchée aussi bien au niveau de la mise en œuvre que de l'évolution de la bentonite au contact du sol calcaire.

Après un rapide rappel du contexte géologique et hydrogéologique et des caractéristiques des géosynthétiques utilisés, nous présentons les données relatives à la mise en eau des bassins, puis nous

analysons des causes du dysfonctionnement de l'étanchéité. Enfin, nous montrons grâce à une analyse hydraulique que l'évolution seule de la perméabilité du GSB permet d'expliquer le dysfonctionnement de l'étanchéité.

1. Équivalent-habitant.

Réalisation des bassins

Contexte géologique et hydrogéologique

Les reconnaissances géologiques effectuées à partir de fouilles réalisées à la pelle mécanique ont permis de mettre en évidence la coupe géologique suivante : de la terre végétale, des argiles marron avec blocs calcaires et silex, des argiles à blocs de calcaire et le substratum calcaire altéré en tête qui se situe vers un mètre de profondeur.

Des essais de mesure de la conductivité hydraulique ont été effectués dans 4 puits, à un mètre de profondeur. L'ensemble de ces essais montre que le terrain est très perméable avec des coefficients de perméabilité de l'ordre de 4×10^{-6} m/s.

Pour la réalisation des bassins, des terrassements en déblais sur une hauteur de 1 m ont été exécutés. Par conséquent le matériau d'étanchéité à installer se trouvera en contact avec le substratum calcaire.

Géosynthétiques

Du fait de la forte conductivité hydraulique du sol, la solution de base retenue pour assurer l'étan-

Les contacts

a. Cemagref, UR Hydrosystèmes et bioprocédés, Parc de Tourvoie, BP 44, 92163 Antony Cedex
b. Direction départementale de l'agriculture et de la forêt de Charente Maritime, 2 avenue de Fétilly, 17072 La Rochelle Cedex 9



▲ Figure 1 – Vue du GSB après la pose et avant le confinement.

2. Polychlorure de vinyle.

3. Polyéthylène haute densité.

4. *American society for testing and material* (société américaine pour les essais et les matériaux).

chéité des bassins était la mise en place d'une géomembrane. Une solution par géomembrane en PVC² ou en PEHD³, de 1,5 mm d'épaisseur a été proposée.

C'est finalement une variante avec géosynthétique bentonitique (GSB) qui a été retenue. Le GSB utilisé est un aiguilleté constitué par un géotextile tissé de masse surfacique égale à 100 g/m², un géotextile aiguilleté de masse surfacique égale à 200 g/m² et de la bentonite sodique naturelle de masse surfacique égale à 5 kg/m² (teneur en eau non précisée).

Le GSB a été confiné par une couche de sol constituée par les matériaux excavés, de 0,3 m d'épaisseur, soit une contrainte approximative



▲ Figure 2 – Vue des bassins à l'issue de la mise en eau suivant la réalisation.

de 5 kPa. Ce confinement n'a pas été effectué à l'avancement, mais à l'issue de la pose intégrale du GSB comme le montre la figure 1.

Mise en eau des bassins

Afin de vérifier l'efficacité de l'étanchéité, une mise en eau des bassins réalisée à l'eau claire avec une hauteur initiale de 1 m environ a été réalisée en novembre 2004. La figure 2 montre les trois bassins à l'issue de la réalisation et au début de cette phase d'essai d'étanchéité. Les relevés des niveaux d'eau des trois bassins sont présentés à la figure 3. Cette dernière met en évidence le mauvais fonctionnement de l'étanchéité puisque les trois bassins qui devaient être imperméables sont presque intégralement vidés en l'espace de deux mois.

Analyse des causes du dysfonctionnement de l'étanchéité

Observations de terrain

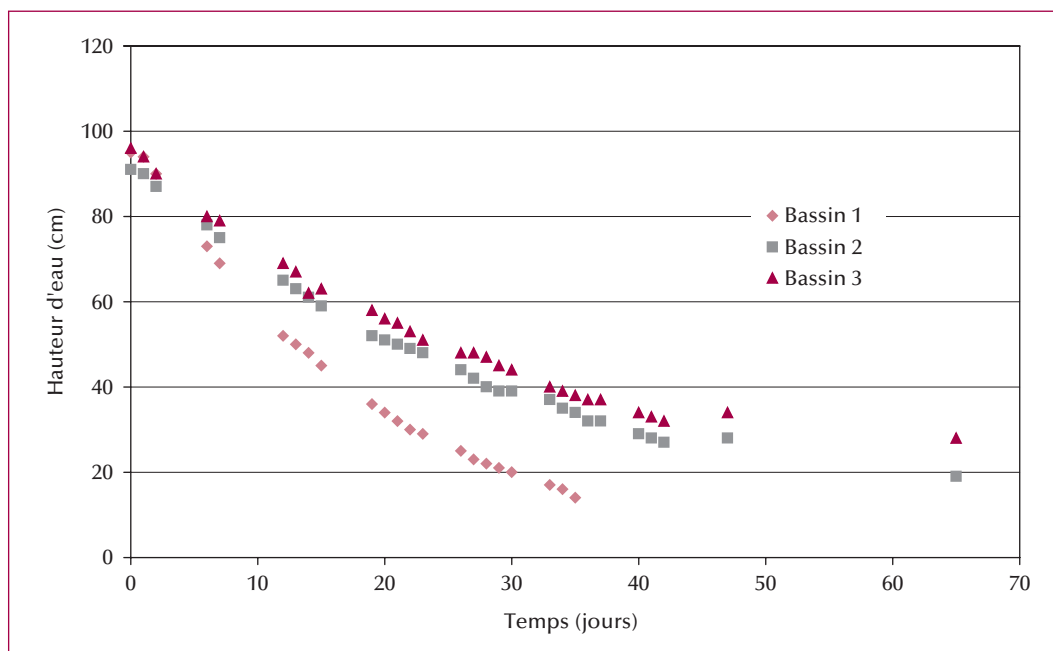
Une visite du site a été réalisée le 10 février 2005 en présence du fournisseur du GSB, de l'entreprise de pose et du maître d'œuvre. À cette date, le premier bassin était pratiquement à sec et ne présentait plus que quelques flaques d'eau à sa surface. Le niveau d'eau dans le second bassin était voisin de 0,2 m alors que celui du bassin 3 était de l'ordre de 0,3 m. La figure 4 montre le bassin 3, cinq mois après la mise en eau. On observe que la surface du sol de confinement est apparente par endroits.

Les observations suivantes ont été effectuées :

– la couche de confinement n'est pas portante par endroits (impossibilité de marcher à sa surface sans s'enfoncer dans le bassin 1) et insuffisamment compactée. La contrainte minimale de 5 kPa nécessaire au confinement du GSB n'est donc sans doute pas appliquée sur toute la surface du matériau d'étanchéité ;

– la couche de confinement très hétérogène contient des racines et des silex (figure 5) très saillants dont certains atteignent 0,25 m de long. Ceci ne correspond pas aux règles de l'art (ASTM⁴, 2005) en termes de granulométrie maximale du sol support et de couverture.

On peut donc suspecter à ce stade que le GSB ait pu être endommagé lors du compactage de la couche de confinement par les silex présents



◀ Figure 3 – Évolution temporelle des niveaux d'eau dans les trois bassins après la mise en eau.

▼ Figure 4 – Observation de l'état du bassin 3, cinq mois après la mise en eau.

aussi bien dans cette couche de confinement que dans la couche support dont la planéité n'était sans doute pas satisfaisante comme le laissent supposer les reliefs observés à la surface du GSB de la figure 1.

La nature calcaire du substratum constituant le fond de forme de pose du GSB a aussi pu contribuer à modifier les caractéristiques de la bentonite sodique naturelle constitutive du GSB. Des prélèvements de GSB ont donc été réalisés pour analyse.

Résultats des essais menés au laboratoire

Différents essais ont été réalisés : un essai de gonflement libre de la bentonite selon la norme XP P 84-703 (Afnor, 2002), ainsi qu'un essai de gonflement-perméabilité à l'oedoperméamètre selon la norme XP P 84-705 (Afnor, 2002), à la fois sur des échantillons de GSB prélevés en fond d'un des bassins et sur des échantillons de GSB vierge provenant d'un rouleau restant en la possession de l'entreprise de pose et qui avait été convenablement stocké.

La capacité de gonflement mesurée sur la bentonite du GSB vierge est égale à 20 ml/2 g sec de bentonite. Elle est donc identique à celle annoncée par le producteur. La valeur de la capacité de gonflement de la bentonite provenant



▼ Figure 5 – Silix dans la couche de confinement du GSB à la périphérie du bassin 2.



des échantillons prélevés *in situ* n'est plus égale qu'à 8 ml/2 g sec de bentonite. Ce gonflement n'est donc plus conforme à ce qu'il devrait être pour une bentonite sodique naturelle. Il est même plutôt représentatif du gonflement libre qui serait obtenu avec une bentonite calcique naturelle (Melchior, 2002).

Le flux à travers le GSB a été mesuré sous une contrainte mécanique de 5 kPa, qui correspond à la contrainte attendue avec 0,3 m de matériaux de confinement sur la géomembrane, pour des charges hydrauliques égales à 0,1, 0,2 et 0,3 m. Le coefficient de perméabilité déduit de cet essai est égal à 4×10^{-11} m/s pour le GSB vierge et 10^{-9} m/s pour le GSB prélevé *in situ*. À noter qu'une différence d'épaisseur du produit initial et prélevé *in situ* a également été observée. En effet, l'épaisseur du GSB initial mesurée dans l'essai de gonflement perméabilité est égale à 9,4 mm pour le matériau vierge alors qu'elle n'est que de 7,2 mm pour le GSB prélevé *in situ*.

Le produit a donc fortement évolué dans l'environnement dans lequel il a été installé.

Interprétation des résultats obtenus

Ces résultats montrent donc qu'il y a eu une altération de la performance hydraulique du GSB liée au passage dans la lagune. Celle-ci pourrait être liée à la présence de calcaire dans le sol support et le sol de confinement du GSB. Il est en effet notoirement connu que le sodium contenu dans la bentonite sodique naturelle a tendance à s'échanger avec le calcium lorsque celui-ci est présent à proximité du GSB. Cet échange a pour effet une réduction de l'espace interfoliaire, une diminution de l'épaisseur du GSB et une augmentation de la conductivité hydraulique (Egglofstein, 2002). Cette explication est celle qui semble la plus plausible en l'absence d'analyses chimiques

poussées à la fois du sol et du GSB qui n'ont pas été conduites dans le cadre de l'étude. Il n'en reste pas moins que l'échange qui s'est produit ici semble très rapide, car il n'a pris que deux mois. Des durées de l'ordre d'une à plusieurs années sont plus souvent mentionnées dans la littérature mais pour des configurations où le GSB n'est que partiellement saturé (par exemple en couverture d'installation de stockage de déchets).

Analyse de l'impact de la modification de la perméabilité du GSB sur le débit d'infiltration

L'étude géotechnique ne fournissant pas de données relativement à l'épaisseur de sol située sous le GSB, ni sur la profondeur de nappe, une épaisseur de un mètre de sol a été prise en compte sous le GSB, afin d'effectuer les calculs de taux d'infiltration avec les différents coefficients de perméabilité mesurés.

Une valeur moyenne du coefficient de perméabilité du terrain égal à $3,76 \times 10^{-6}$ m/s a été retenue. Elle est fondée sur les résultats de l'étude géotechnique succinctement présentés ci-dessus.

Le tableau 1 présente les résultats obtenus en termes de vitesses d'infiltration dans le GSB et le sol sous-jacent, pour une charge hydraulique de 1 m, par application de la loi de Darcy.

Ces résultats montrent que :

- la baisse de perméabilité seule du GSB permet d'expliquer les baisses de niveau obtenues dans les différentes lagunes, de l'ordre de un à trois ou quatre centimètres par jour dans les cas les pires. Il n'est donc pas nécessaire d'incriminer la qualité de la pose ni la présence de silex ayant pu endommager le GSB pour expliquer la faible performance hydraulique obtenue ;

► Tableau 1 – Synthèse des paramètres de calcul et des résultats obtenus en termes de vitesses d'infiltration en fonction de la provenance du GSB.

	GSB provenant de la lagune	GSB vierge
Épaisseur du GSB (m)	$7,2 \times 10^{-3}$	$9,4 \times 10^{-3}$
Conductivité hydraulique du GSB (m/s)	10^{-9}	4×10^{-11}
Épaisseur du sol (m)	1	1
Conductivité hydraulique du sol (m/s)	$3,76 \times 10^{-6}$	$3,76 \times 10^{-6}$
Charge hydraulique (m)	1	1
Conductivité hydraulique équivalente (m/s)	$1,35 \times 10^{-7}$	$4,29 \times 10^{-9}$
Vitesse d'infiltration (mm/j)	23,2	0,74

– le produit livré, s'il n'avait pas évolué, aurait permis d'assurer une baisse de niveau maximale de l'ordre du millimètre par jour, même sous une contrainte mécanique de l'ordre de 5 kPa, relativement faible. Cette baisse de niveau semble acceptable compte tenu des précisions limnimétriques actuelles.

À titre comparatif, lors de la mise en œuvre d'une étanchéité par couches d'argiles compactées, la perméabilité maximale acceptée lors de la réalisation du fond de bassin et des talus est de 10^{-8} m/s (FNDAE⁵, 1990).

Conclusions

Le géosynthétique bentonitique utilisé pour la réalisation de l'étanchéité des trois bassins de lagunage est un produit d'étanchéité qui, s'il n'avait pas été altéré, aurait permis d'obtenir un niveau d'étanchéité acceptable des trois lagunes.

Compte tenu de la connaissance de la nature du substratum, contenant du calcaire comme

l'indique l'étude géotechnique, la solution de réalisation d'une étanchéité à partir de GSB n'est pas de celles qu'il aurait fallu préconiser, surtout en l'absence de dosage de la concentration en calcium dans le sol. En effet, les effets de l'altération chimique des bentonites sodiques naturelles par les sols calcaires sont à l'heure actuelle bien connues, et on sait que l'échange cationique du sodium par le calcium est inévitable et qu'il conduit à des pertes de perméabilité notoires, notamment sous de faibles contraintes mécaniques.

L'évolution seule de la conductivité hydraulique du GSB permet d'expliquer de façon satisfaisante les débits de fuite obtenus, et il n'y a donc pas lieu d'incriminer la présence de silex. Pour autant, il est clair que pour des préconisations de pose futures, la présence d'éléments poinçonnants susceptibles d'endommager les GSB est à proscrire car elle ne correspond pas aux règles de l'état de l'art. □

5. Fonds national pour le développement des adductions d'eau.

Résumé

Trois bassins de lagunage ont été étanchés par un géosynthétique bentonitique (GSB) contenant de la bentonite sodique naturelle et confiné par une couche de sol argilo-calcaire à blocs de silex. À la mise en eau, des fuites importantes ont été enregistrées. Les différentes explications avancées sont l'endommagement par les silex et l'insuffisance de l'épaisseur de la couche de confinement du GSB. L'expertise réalisée a mis à jour l'évolution de la conductivité hydraulique du GSB et de son indice de gonflement suite au contact avec le sol calcaire. Ce phénomène à lui seul permet d'expliquer les débits de fuite observés sur ces trois ouvrages. Pour autant l'existence d'éléments poinçonnants est à proscrire.

Abstract

Three wastewater lagoons were lined thanks to a geosynthetic clay liner (GCL) containing natural sodium bentonite confined thanks to a calcareous clayey soil containing silex. Leaks were detected as soon as water was introduced into the ponds. The various explanations are puncturing and weakness of the confining layer. The study performed showed that the hydraulic conductivity and swelling index of the bentonite evolved at the contact of the calcareous soil. This phenomenon itself allows explaining the rate of leakage obtained. Nonetheless, the use of soils containing puncturing elements is not

Bibliographie

AFNOR, 2002, *Norme XP P84-703 : Détermination de la capacité de gonflement de l'argile dans les géosynthétiques bentonitiques*, 6 p.

AFNOR, 2002, *Norme XP P84-705 : Détermination à l'oedoperméamètre des caractéristiques de gonflement – Absorption – Perméabilité à l'eau sous contrainte*, 16 p.

ASTM, 2005, *ASTM D6102-04: Standard Guide for Installation of Geosynthetic Clay Liners*.

EGGLOFSTEIN, T., 2002, Bentonite as sealing material in geosynthetic clay liners –Influence of the electrolytic concentration, the ion exchange and ion exchange with simultaneous partial desiccation on permeability, *in Proceedings of Clay Geosynthetic Barriers*, p. 141-153.

FNDAE, 1990, *Le génie civil des basins de lagunage naturel*, n° 7, 50 p.

MELCHIOR, S., 2002, Field studies and excavations of geosynthetic clay barriers in landfill covers, *in Proceedings of Clay Geosynthetic Barriers*, p. 321-330.