

INFLUENCE D'UNE PRÉHYDRATATION SANS CONFINEMENT SUR LES PERFORMANCES HYDRAULIQUES DES GSB

INFLUENCE OF A PREHYDRATATION WITHOUT CONTAINMENT STRESS ON THE HYDRAULIC PERFORMANCES OF GEOSYNTHETIC CLAY LINER

Gérard DIDIER¹, Véronique NOROTTE¹, Nathalie TOUZE-FOLTZ², J. BUESSARD²,

Gérard MAZZOLENI³, J.L. MAHUET⁴

¹ INSAVALOR, Coulomb 3, 34 avenue des arts, 69621 Villeurbanne cedex

² CEMAGREF, Parc de Tourvoie, 92163 Antony Cedex

³ CETU, 25 avenue François Mitterrand, 69674 Bron cedex

⁴ EGIS Rail, 25 cours Emile Zola, 69625 Villeurbanne cedex

Résumé - Il est recommandé de confiner les géosynthétiques bentonitiques (GSB) utilisés en étanchéité d'ouvrages à l'avancement lors de leur mise en œuvre. Dans le cas d'une utilisation en étanchéité d'ouvrages souterrains, les GSB peuvent se trouver hydratés après leur pose et avant confinement du fait d'aléas de chantier ou de conditions météo défavorables. L'objectif de l'étude présentée est d'évaluer l'incidence d'une telle préhydratation vis-à-vis des performances hydrauliques ultérieures du géosynthétique bentonitique, et notamment lorsque son confinement est réalisé dans cet état hydrique, pour plusieurs GSB qui se distinguent principalement par leur mode de liaison permettant de contenir la bentonite. Les premiers résultats indiquent un maintien des performances hydrauliques pour certains GSB préhydratés sans confinement. Ce constat n'est pas généralisable à tous les GSB.

Mots-clés : étanchéité, géosynthétique bentonitique, conductivité hydraulique, préhydratation, confinement.

Abstract – It is recommended to confine geosynthetic clay liners (GCLs) used in sealing works in progress during their implementation. In the case of a use in sealing of underground works (shaft walling, superior slab for example) GCLs can be hydrated after their installation and before confining because of risk of construction site or of unfavourable weather conditions. The objective of the study presented is to estimate the impact of such a prehydration towards the later hydraulic performances of the GCL, in particular when its containment is realized at this water content state, for several GCL which discriminate themselves mainly by their bonding type allowing to contain the bentonite. The results indicate a maintaining of their hydraulic performance for some GCLs prehydrated without containment cover. But this observation is not valid for all the GCLs.

Keywords: sealing, geosynthetic clay liner, hydraulic conductivity, prehydration, confining

1. Introduction

L'utilisation de géosynthétiques bentonitiques (GSB) comme dispositif d'étanchéité implique de les recouvrir le plus rapidement possible et avant tout évènement pluvieux par une couche de confinement apportant la contrainte minimale nécessaire à leur fonctionnement (CFG, 1998).

Dans le cas d'un usage en étanchéité d'ouvrages souterrains (étanchéité extradossée, dalle de couverture par exemple), les GSB peuvent se trouver hydratés après leur pose et avant confinement du fait d'aléas de chantier (arrêt des pompes d'exhaure) ou de conditions météo défavorables (épisode pluvieux prolongé). Le groupe de travail n°6 de la commission de révision du Fascicule 67 titre III du CCTG (Cahier des Clauses Techniques Générales) applicable au marché public des travaux pour le cas des GSB utilisés en étanchéité d'ouvrages souterrains, a demandé des informations complémentaires sur le comportement des GSB dans ce type de scénarios afin d'étayer ses recommandations de mise en œuvre. C'est dans ce contexte que le centre d'études des tunnels (CETU) pilote une étude visant à évaluer l'incidence d'une préhydratation du GSB non confiné vis-à-vis de ses performances hydrauliques ultérieures lorsque le confinement est réalisé.

La démarche expérimentale retenue consiste à simuler cette préhydratation en laboratoire sur des planches d'essais correspondant aux trois types de localisations rencontrés dans l'ouvrage : i) En radier (Figure 1), ii) en piedroit (position verticale), iii) en dalle supérieure (position horizontale).

Plusieurs types de GSB sont testés, contenant une couche de bentonite sodique comprise entre deux géotextiles tissés, ou un tissé et un non tissé aiguilleté. Ils se distinguent en particulier par leur mode de liaisonnement, aiguilletage ou couture, permettant de contenir la bentonite.



Figure 1. GSB en attente avant réalisation du radier

2. Programme expérimental

Les quatre GSB retenus (référéncés GSB1 à GSB4) pour les essais correspondent aux produits les plus courants commercialisés sur le marché français.

Les essais se déclinent avec les trois étapes suivantes : i) une identification de chaque GSB et une détermination de leurs performances hydrauliques sous une contrainte de 20 kPa suivant la norme NF P 84-705, ii) une simulation d'un épisode pluvieux prolongé sur chaque GSB non confiné placé dans l'un des trois scénarios rencontrés dans l'ouvrage, iii) une détermination des performances hydrauliques sous 20 kPa des GSB préhydratés précédemment sans confinement.

En fonction de leur situation, les modes de préhydratation diffèrent : i) une immersion de cinq jours en position de radier et ii) une pluie de cinq jours pour les positions en piédroit et en dalle supérieure

3. Résultats

3.1. Identification et caractérisation hydraulique des GSB testés

Les principales caractéristiques des GSB testés sont regroupées dans le tableau I. Une photo est donnée pour chaque produit sur la figure 2.

Tableau I. Caractéristiques initiales de chaque GSB

	unité	GSB1	GSB2	GSB3	GSB4
Géotextile supérieur	-	tissé	tissé	tissé	Non-tissé
Géotextile inférieur	-	Non-tissé	tissé	tissé	tissé
Liaisonnement	-	aiguilletage	couture	couture	aiguilletage
bentonite	-	granules	granules	poudre	poudre
M_a (minimum)	g/m^2	5200	5000	4200	5200
H_{20kPa}	mm	7,6	5,0	5,1	6,9

avec M_{GSB} : masse surfacique totale du GSB ; M_{syn} : masse surfacique des géosynthétiques compris dans le GSB ; M_a : masse surfacique en bentonite sèche ; H_{20kPa} : épaisseur du GSB initial sous 20 kPa ; w_j : teneur en eau initiale de la bentonite

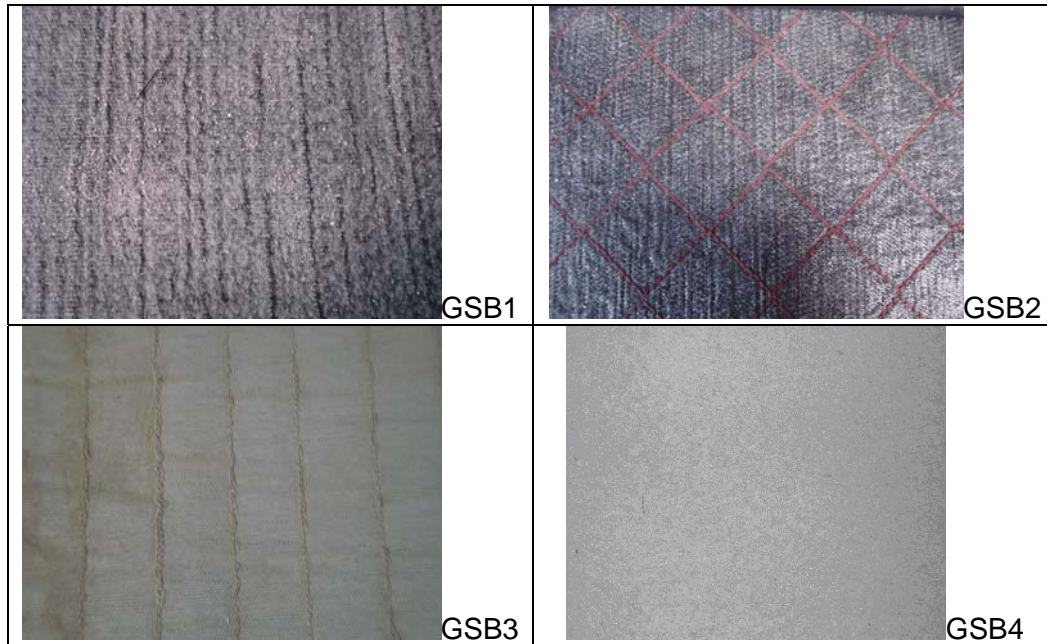


Figure 2. Aspect des quatre GSB testés et de leur bentonite

Les essais de perméabilité sous une contrainte de 20 kPa ont été réalisés dans un œdoperméamètre, décrit dans la norme NF P 84-705.

Ces essais débutent par une phase de saturation et gonflement de la bentonite sous la contrainte de 20 kPa. Quand le gonflement a atteint 90 % du gonflement évalué par une loi hyperbolique (description dans la norme NF P 84-705), la charge hydraulique est augmentée afin de passer en phase d'écoulement et de mesurer le flux surfacique pour différentes valeurs de la charge hydraulique.

Si l'évolution du flux surfacique en fonction de la charge hydraulique est linéaire, le coefficient de perméabilité (k) est calculé en utilisant la loi de Darcy. Ce calcul nécessite que l'épaisseur du GSB soit uniforme sur toute la section, ce qui n'est pas toujours le cas ici. La permittivité (ψ), dont le calcul est indépendant de l'épaisseur du GSB, a été déterminée pour tous les essais de performance hydraulique afin de comparer tous les résultats.

Ces paramètres sont déterminés à partir des équations suivantes :

$$k = \frac{F}{i} \quad (1)$$

avec $i = \frac{h}{H}$ (2)

et $\psi = \frac{F}{h}$ (3)

où k est la conductivité hydraulique ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) ; F_h est le flux surfacique ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) pour la charge hydraulique h ; i est le gradient hydraulique ; h est la charge hydraulique (m) ; H est l'épaisseur du GSB (m) ; ψ_h est la permittivité (s^{-1}) pour la charge hydraulique h .

Les coefficients de perméabilité des quatre GSB, mesurés suivant la norme NF P 84-705 avec une contrainte normale de 20 kPa pendant toute la durée de l'essai, sont compris entre $1\cdot 10^{-11}$ et $2\cdot 10^{-11}$ m/s.

3.1. Préhydratation sans confinement

3.1.1. Simulation des épisodes pluvieux en position « dalle supérieure » et « piédroit »

Pour chaque type de GSB, deux échantillons viennent recouvrir deux supports rigides d'une dimension de 0,8m x 0,8m placés pour l'un en position horizontale avec une légère pente et pour l'autre en position quasi verticale. Ils correspondent aux deux planches simulant respectivement une utilisation en « dalle supérieure » (Figure 3(a)) et en « piédroit » (Figure 4 (a)).

Ces planches ont été soumises à des épisodes pluvieux prolongés simulés par un arrosage (Figures 3 (c) et 4 (c)) de 6 heures/jour pendant 5 jours. Chaque jour un prélèvement de l'ordre de 0,1m x 0,1m (Figure 3 (b)) a été effectué à la base de ces planches pour déterminer ses caractéristiques physiques (épaisseur H et teneur en eau w) et l'évolution dans le temps. L'espace ainsi libéré par ces prélèvements a été fermé par du plâtre visible sur la Figure 4 (b).

En fin de la phase d'hydratation - après 5 jours d'arrosage – plusieurs prélèvements de l'ordre de 0,1mx0,1m ont été effectués sur une même verticale de la planche, espacés de 5 cm pour déterminer leurs caractéristiques physiques (H et w).

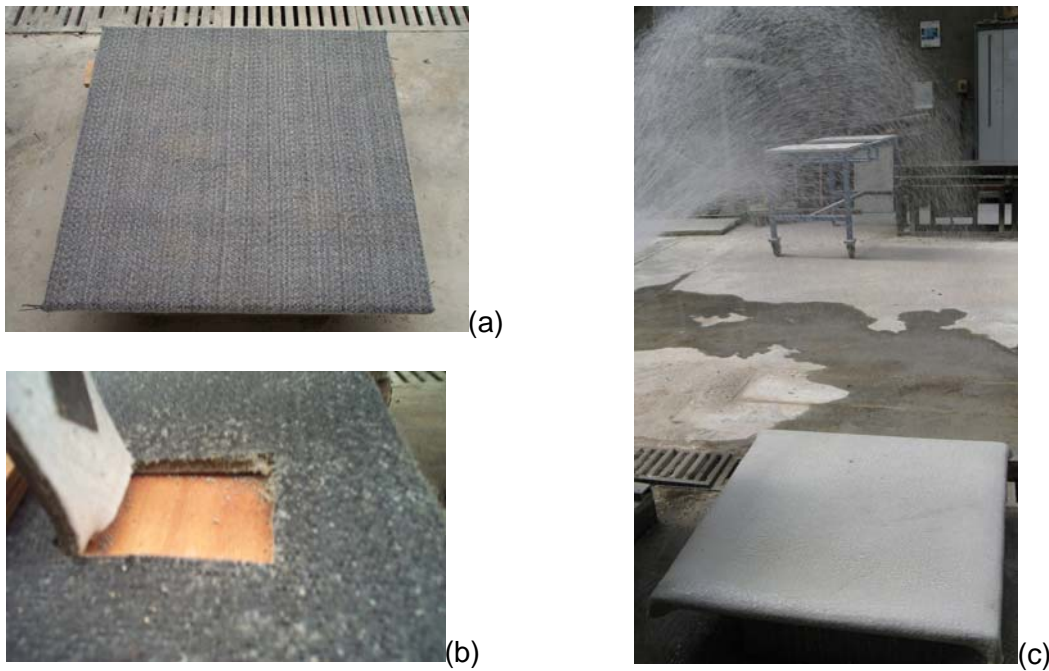


Figure 3. Exemple de planches d'essai pour GSB en position « dalle supérieure » : (a) état initial ; (b) prélèvement d'un échantillon (~10cmx10cm) et (c) simulation de pluie.

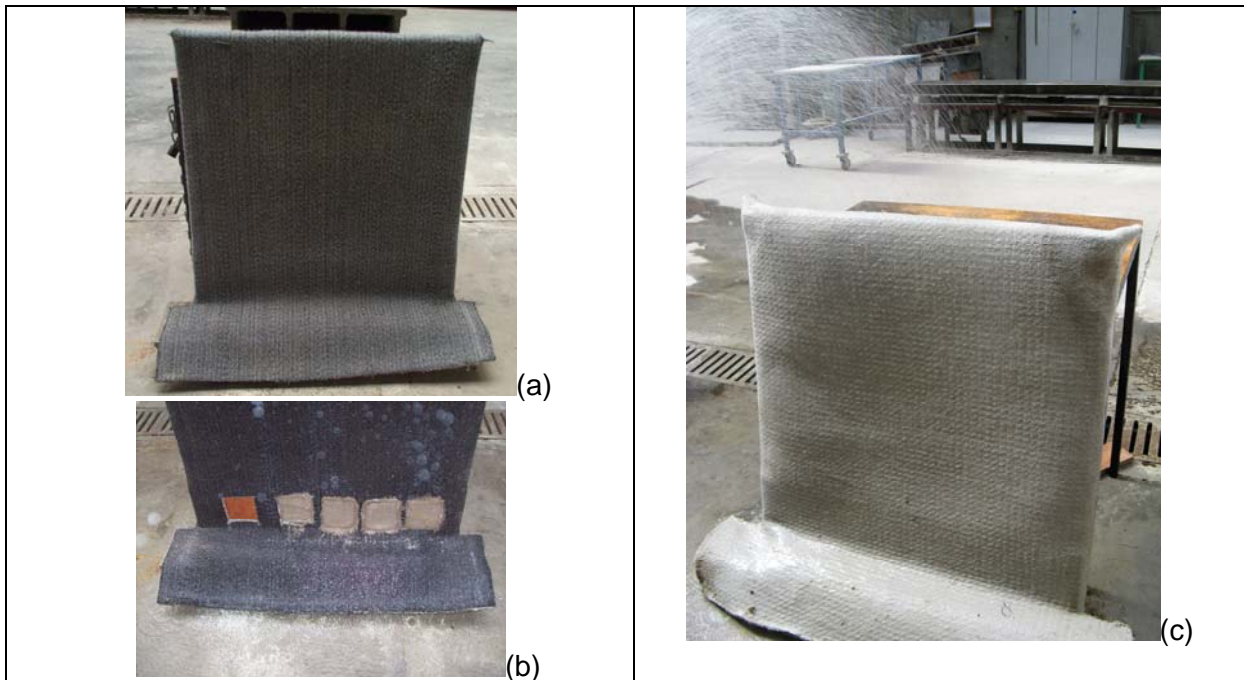


Figure 4. Exemple de planche d'essai pour GSB en position « piédroit » : (a) état initial, (b) prélèvements d'échantillons à la base et (c) simulation de pluie.

Les résultats sont développés pour le cas de deux GSB, GSB1 et GSB2. Les figures 5 et 6 montrent l'évolution progressive de l'hydratation de la bentonite à partir du suivi de sa teneur en eau. La teneur en eau finale est comprise entre 87 et 112% pour GSB1 et proche de 230% pour GSB2. L'épaisseur de GSB1 passe d'une valeur initiale égale à 7,6 mm à une valeur comprise 9,9 et 10,8 mm sous 20 kPa, soit un gonflement supérieur à 2 mm. La présence de liens suivant des losanges pour GSB2 crée une variabilité de l'épaisseur du GSB, se manifestant par des bombements pour chaque losange. La partie centrale peut atteindre une épaisseur de 28 mm alors qu'au niveau des liens, l'épaisseur mesurée au

ped à coulisse varie de 6 à 10 mm. Ces bombements apparaissent très rapidement. Dès le premier jour, les épaisseurs varient entre 9 et 16 mm.

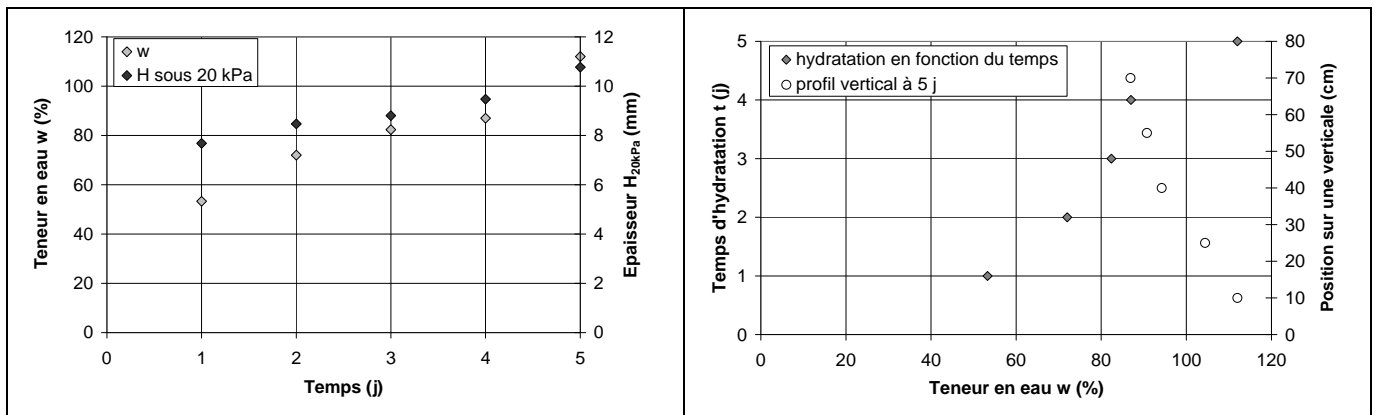


Figure 5. Évolution des caractéristiques de GSB1 en « dalle supérieure » au cours de la préhydratation

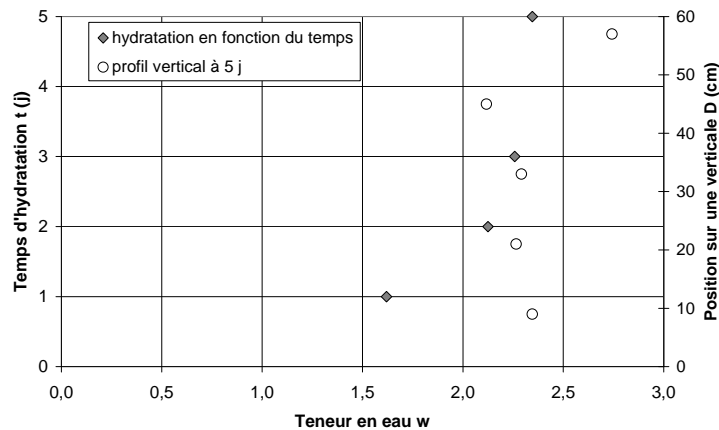


Figure 6. Évolution des caractéristiques de GSB2 en « dalle supérieure » au cours de la préhydratation

3.1.2. Simulation des épisodes pluvieux en position « radier »

En position radier, si les pompes d'exhaure tombent en panne, la nappe remonte immergeant le GSB. La simulation en laboratoire s'effectue directement dans la cellule de l'oedoperméamètre dont le piston a été enlevé et une solution de NaCl $10^{-3}M$ est maintenue sur une hauteur de 1 cm pendant 5 jours. Ensuite, le liquide est retiré et l'épaisseur du GSB est relevée en plusieurs points afin d'évaluer le gonflement total et sa répartition (uniforme ou non) sur toute la section de l'échantillon testé. Pour le GSB1, un essai supplémentaire a été réalisé sur une éprouvette rectangulaire avec une charge hydraulique nulle, le niveau de l'eau étant réglé suivant sa face supérieure. L'état final de cette éprouvette est visible suivant une coupe sur la Figure 7. Par contre pour le GSB2, son épaisseur est variable, plus faible au niveau des coutures et bombée au centre des losanges comme sur la Figure 8 (a).



Figure 7. Éprouvette de GSB1 après saturation sans confinement et sous charge hydraulique nulle

3.2. Performances hydrauliques sous 20 kPa

Pour chaque planche décrite précédemment, une éprouvette de 250 mm de diamètre a été découpée dans le GSB hydraté. Elle est placée dans l'œdoperméamètre pour déterminer ses performances hydrauliques sous une contrainte de 20 kPa.

Si l'épaisseur de l'éprouvette n'est pas uniforme sur toute sa section, l'absence de planéité de la surface peut nécessiter pour certains GSB, comme le GSB2 sur la Figure 8 (a), de placer dans les creux un matériau granulaire fin déformable pour ne pas altérer cet état de surface lors de l'application de la contrainte de confinement avec le piston (ou in situ lors du coulage du radier) comme indiqué sur les Figures 8 (b) et 8 (c).

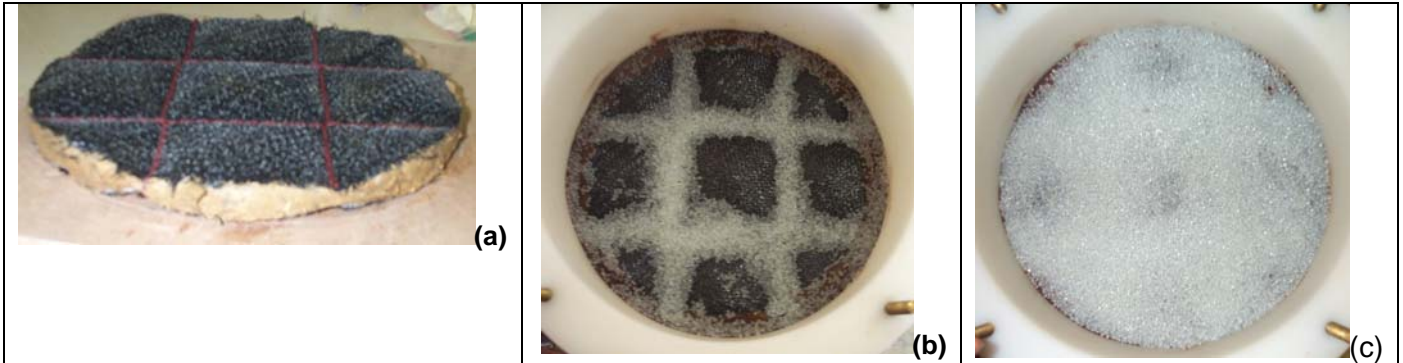


Figure 8. Comblement des creux du GSB2 dans l'œdoperméamètre : (a) état de surface du GSB2 hydraté sans confinement, (b) remplissage des creux par des billes de verre et (c) réglage de la couche de billes sur toute la surface d'essai

L'essai commence par une phase de consolidation de l'éprouvette sous l'effet de l'application de la contrainte de 20 kPa qui conduit à un tassement plus ou moins notable de l'éprouvette avec une réduction du volume des vides de la bentonite et une augmentation de sa densité.

Bien que l'éprouvette testée présente initialement une teneur en eau importante, elle n'est pas forcément saturée. Après stabilisation de l'éventuel tassement, l'eau est introduite dans la cellule de façon à appliquer un gradient hydraulique inférieur à 2. La variation éventuelle d'épaisseur, ou gonflement, de l'éprouvette est suivie dans le temps.

Après stabilisation de cette épaisseur, la charge hydraulique est augmentée progressivement par paliers pour créer un écoulement au travers du GSB.

Le tableau II regroupe les résultats des essais de performance hydraulique obtenus pour le GSB1 soumis à une charge hydraulique de 0,6 m.

Tableau II. Résultats des essais de performance hydraulique sous 20 kPa pour GSB1 :

	unité	GSB confiné	Radier	Dalle supérieure	Piédroit
$w_{i,g}$	%	14		91	83
$F_{0,6m}$	$m.s^{-1}$	$9,3.10^{-10}$	$1,8.10^{-9}$	$1,0.10^{-9}$	$1,1.10^{-9}$
$\Psi_{0,6m}$	s^{-1}	$1,6.10^{-9}$	3.10^{-9}	$1,7.10^{-9}$	$1,9.10^{-9}$
$F_{0,6m}/F_{C0,6m}$	sans	1	2	1,1	1,2

avec $w_{i,g}$: teneur en eau globale de l'éprouvette ; $F_{0,6m}$ et $\Psi_{0,6m}$: flux surfacique et permittivité pour une charge hydraulique de 0,6m ; F_c : flux surfacique correspondant à des conditions de mise en œuvre conformes (soit la colonne « GSB confiné »)

Les flux surfaciques correspondant à une charge hydraulique de 0,6 m sont du même ordre de grandeur pour toutes les éprouvettes, saturées ou non sous 20 kPa. Pour le cas le plus défavorable, soit en position de « radier » immergé pendant 5 jours sans confinement, le flux sous une contrainte de 20 kPa n'est que le double de celui pour le même produit saturé sous la contrainte de 20 kPa.

Les résultats des essais de performance hydraulique obtenus sur le GSB2 cousu sont donnés dans le tableau III. Aucun résultat n'est donné pour la position « radier » du fait d'une vitesse d'infiltration élevée non mesurable excepté pour une charge hydraulique très faible, mais dont l'évaluation de cette dernière est imprécise car inférieure aux écarts d'épaisseur mesurés sur l'éprouvette.

Tableau III. Résultats des essais de performance hydraulique sous 20 kPa pour GSB2 :

	unité	GSB confiné	Radier	Dalle supérieure	Piédroit
$w_{i,g}$	%	16		241	208
h	m	0,3		0,26	0,35
F	$m.s^{-1}$	$1,9.10^{-9}$	-	$3,7.10^{-6}$	2.10^{-8}
ψ	s^{-1}	$6,3.10^{-9}$	-	$1,4.10^{-5}$	$8,1.10^{-8}$
ψ/ψ_c	sans	1	-	2222	13

avec $w_{i,g}$: teneur en eau globale de la bentonite dans toute l'éprouvette ; h : charge hydraulique ; F et ψ : flux surfacique et permittivité pour la charge h ; ψ_c : flux surfacique mesuré dans des conditions de mise en œuvre conformes (soit la colonne « GSB confiné »)

Ces résultats montrent une réduction très nette des performances hydrauliques pour le GSB2 avec une permittivité, ou même un flux surfacique, supérieur d'au moins trois puissances de 10 dans le cas de la préhydratation en dalle supérieure par rapport à un usage conforme, c'est-à-dire une hydratation sous contrainte. Le matériau ne constitue plus dans ce cas une étanchéité. Il faut noter que ce type de GSB n'a jamais été utilisé en ouvrage souterrain et n'est plus commercialisé en France. Ces mauvais résultats ne doivent pas être étendus à tous les GSB cousus. En effet les résultats obtenus pour le GSB3 cousu sont bien meilleurs. Les raisons de ces différences proviennent très probablement de la nature du liaisonnement, illustré sur la Figure 9. En effet, le GSB2 (Figure 9 (a)) se distingue du GSB3 (Figure 9 (b)) par l'épaisseur importante de son lien de couturage.

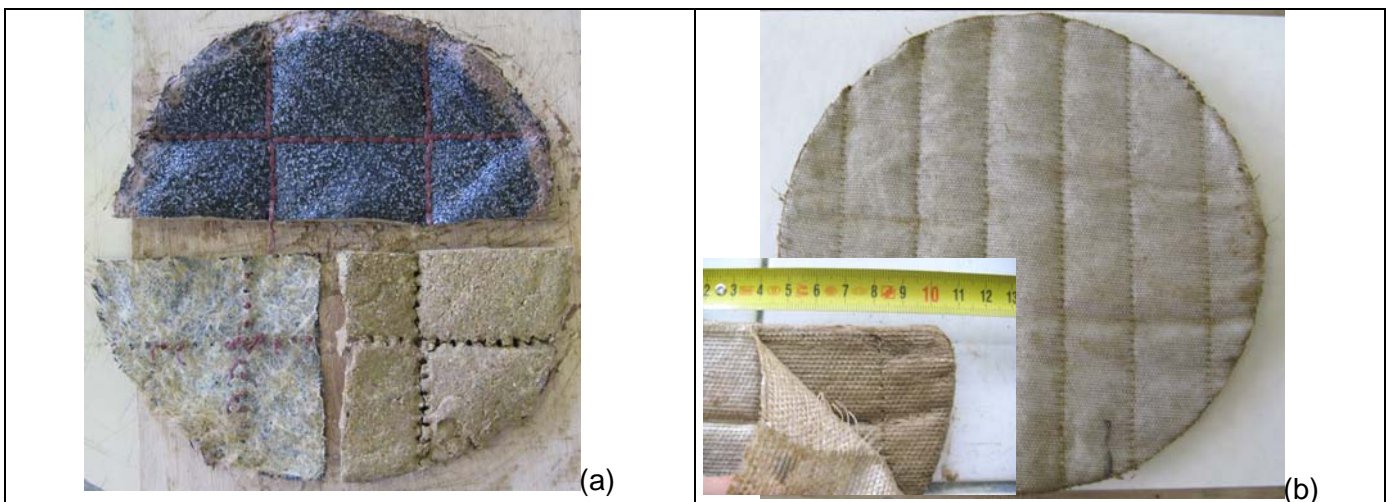


Figure 9. Empreintes laissées par le couturage dans la bentonite hydratée : (a) GSB2 et (b) GSB3

4. Conclusion

Les essais réalisés ont permis de simuler une préhydratation pour différents types de GSB, aiguilletés ou cousus, non confinés. Pour les deux GSB, GSB1 et GSB2, les résultats des essais de performances hydrauliques dans des conditions conformes, c'est-à-dire avec l'application de la contrainte de 20 kPa dès le début de l'hydratation de la bentonite, ont été comparées aux performances hydrauliques sous 20 kPa des mêmes échantillons préhydratés sans confinement. Ces résultats indiquent un bon maintien des performances hydrauliques pour le GSB aiguilleté (GSB1), non recouvert lors d'un épisode pluvieux prolongé. Cependant ce constat n'est pas généralisable à tous les GSB. En effet dans le cas du GSB cousu (GSB2) avec un lien épais (environ 0,7 mm d'épaisseur), ses performances hydrauliques sont très réduites après une forte préhydratation sans confinement.

Les essais réalisés en laboratoire simulent le cas d'un usage en ouvrage souterrain. Cependant les résultats peuvent intéresser d'autres ouvrages comme les installations de stockage de déchets (ISD), que ce soit en position de fond et talus sous une géomembrane ou en couverture.

Dans tous les cas, la mise en œuvre du matériau de confinement sur un géosynthétique bentonitique hydraté ne pourra se faire que dans le cadre d'une procédure garantissant l'intégrité de l'étanchéité.

5. Remerciements

Nos remerciements au centre d'études des tunnels (CETU) qui a financé le programme expérimental intitulé « Influence d'une pré-hydratation de géosynthétiques bentonitiques avant confinement vis-à-vis de leurs performances hydrauliques ultérieures ».

6. Références

- CFG (1998). Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géosynthétique bentonitique – CFG, fascicule n°12, 57 pages.
- NF P 84-705 (2008). Détermination à l'oedoperméamètre des caractéristiques de gonflement, flux et perméabilité des géosynthétiques bentonitiques – Essai de caractérisation et essai de performance. novembre 2008, 21 pages.