

EFFET DE LA DESSICCATION SUR LES PERFORMANCES DES GSB UTILISÉS EN OUVRAGES SOUTERRAINS

EFFECT OF DRYING ON THE PERFORMANCES OF GCLs USED IN UNDERGROUND STRUCTURE

Catherine POTHIER¹, Stéphane VACHERIE¹, Yves LAMBERT¹, Gérard DIDIER², Gérard MAZZOLENI³

¹ Université de Lyon, INSA Lyon, LGCIE, Villeurbanne, France

² CED Ingénierie, Bron, France

³ CETu, Bron, France

RÉSUMÉ – Les géosynthétiques bentonitiques (GSB) sont utilisés en ouvrages souterrains en France, mais leur confinement peut intervenir un certain temps après leur pose. Ces GSB peuvent alors subir des cycles d'hydratation-dessiccation qui peuvent leur être préjudiciables. Cet article a pour objectif de présenter les résultats d'une étude en laboratoire de simulation de la dessiccation de deux GSB contenant de la bentonite granulaire ou en poudre. La teneur en eau, les changements dimensionnels, l'évolution des fissures sont observés après des cycles d'hydratation-dessiccation, suivant le projet de norme prCEN/TS 14417, d'une part, et, d'autre part, suivant un protocole INSA en cours de développement.

Mots-clés : ouvrage souterrain, géosynthétique bentonitique, hydratation-dessiccation

ABSTRACT – Geosynthetic Clay Liners (GCLs) are used in underground works in France, but their confinement can be realized some time after their implementation. GCLs may so undergo hydration-drying cycles which can be harmful to them. The objective of this study is to present the results of laboratory tests on drying paths which are realized on two GCLs containing granular or powdered bentonite. The water content, the changes of size, the evolution of cracks are observed after wetting-drying cycles, according to the technical specification CEN / TS 14417 on one hand and, on the other hand, according to a protocol which is under development at INSA Lyon (Applied Sciences National Institute).

Keywords: underground works, Geosynthetic Clay Liners, hydration-drying cycles

1. Introduction

Les géosynthétiques bentonitiques (GSB) utilisés comme dispositif d'étanchéité en installation de stockage de déchets ou dans la réalisation de bassins sont immédiatement après leur pose confinés à la contrainte minimale requise pour leur utilisation (CFG, 1998 ; 2011). Cependant, dans le cas d'une utilisation en étanchéité d'ouvrage souterrain (radier ou dalle de couverture), les GSB se trouvent souvent confinés ultérieurement à leur pose, en fonction des impératifs de chantier et de la météo. C'est dans ce contexte que nous avons montré précédemment (Didier et al, 2009) l'influence d'une pré-hydratation sur les performances hydrauliques des GSB aiguilletés. Une phase de sécheresse plus ou moins prolongée peut de même avoir lieu toujours avant le confinement et entraîner une dessiccation de la bentonite du GSB pouvant affecter ses performances ultérieures

Cet article présente une étude réalisée sur deux types de GSB soumis à des cycles d'hydratation-dessiccation afin de mettre en évidence l'évolution de la typologie des fissures, les cinétiques d'absorption et de restitution de l'eau contenue dans les GSB ainsi que l'évolution de la géométrie des éprouvettes. Ces essais ont été d'une part réalisés suivant la norme prCEN /TS 14417 (norme CEN dans la suite du texte) qui figure dans la norme NF EN 13491 et dans la spécification des essais pour l'obtention d'un avis technique CETu et d'autre part en suivant un protocole développé par l'INSA en 2008 (Didier et Norotte, 2008) pour l'obtention d'un additif à l'avis technique CSTB 7/06-1397 V1 relatif à l'extension du domaine d'emploi du procédé VOLCLAY aux DOM. Les principales différences entre les deux protocoles d'essais résident dans :

- le choix du nombre de cycles d'hydratation-dessiccation ;
- la présence ou non d'une contrainte de confinement durant les phases d'hydratation et de dessiccation ;

- le choix de la température conduisant à la dessiccation du GSB (110°C norme CEN et 45°C protocole INSA).

2. Présentation des essais

2.1. Présentation des GSB

Les matériaux retenus pour cette étude sont deux GSB aiguilletés dont l'un (GSB2) comporte un géofilm en polyéthylène associé au géotextile non tissé. Leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau 1. Les essais ont été réalisés suivant les normes :

- NF P94-050 pour la détermination de la teneur en eau ;
- XP P84-703 pour la valeur de l'indice de gonflement ;
- NF EN 14196 pour la détermination de la masse surfacique.

Tableau 1. Caractéristiques des GSB.

Caractéristiques	Unités	GSB1	GSB2
Géotextile supérieur		Tissé	tissé
Géotextile inférieur		non tissé	non tissé
Liaisonnement		aiguilleté	aiguilleté
Bentonite		poudre beige	granulée gris/marron
Masse surfacique sèche du GSB	kg/m ²	5,14	5,0
Épaisseur du GSB sans contraintes	mm	6,3	7,6
Masse surfacique des géotextiles (fournie):	g/m ²	380	300
Masse surfacique de la bentonite sèche	kg/m ²	4,76	4,7
Teneur en eau initiale	-	12 %	24,6 %
Indice de gonflement	cm ³ pour 2g	28	30

Afin de pouvoir comparer le comportement de ces GSB lors de la phase de dessiccation, le géofilm du GSB 2 a été retiré.

2.2. Protocole de la norme CEN

La norme CEN définit un protocole permettant de connaître l'influence de quatre cycles d'hydratation-dessiccation sur la conductivité hydraulique d'un GSB.

Pour ces essais et pour chaque GSB, une éprouvette de 0,4 × 0,4 mm ainsi que quatre éprouvettes de 0,2 × 0,2 mm ont été découpées dans un lé de GSB. Les éprouvettes de GSB, une fois découpées aux dimensions, ont été fermées sur les bords à l'aide d'une bande adhésive de haute résistance mécanique et thermique puis agrafées afin d'assurer la conteneurisation de la bentonite. Toutes les éprouvettes ont été placées horizontalement pour la phase d'hydratation sur une plaque en aluminium ajourée afin de permettre une hydratation parfaite par les deux faces mais aussi pour faciliter la manutention; puis elles ont été immergées dans des bacs prévus à cet effet. Le protocole utilisé diffère de celui de la norme CEN par l'absence de contrainte (4 kPa) à appliquer sur le GSB. Dans les ouvrages souterrains, tant que le GSB n'est pas confiné, la contrainte est effectivement nulle et l'humidification ou le séchage se produisent dans ces conditions que nous avons souhaité reproduire. Bien que ces caractéristiques ne soient pas demandées dans la norme, nous avons souhaité suivre en surface les variations dimensionnelles des éprouvettes de 0,4 × 0,4m et pour les éprouvettes de 0,2 × 0,2m les variations de teneur en eau et l'évolution du réseau de fissures.

L'essai comprend 4 cycles d'hydratation (48 h puis 24 h) et de séchage à 110°C (24h). Lors du cycle 1, les éprouvettes ont été immergées durant 48 h puis sorties et mises à l'étuve durant 24 h à 110°C et ensuite maintenues durant 24 h à la température ambiante. Cette opération est répétée pour les cycles 2, 3, et 4 avec une phase d'hydratation qui ne dure plus que 24 h. Pour chaque cycle, une pesée est réalisée en sortie du bac d'hydratation, après étuvage et après repos sur l'ensemble des éprouvettes. De plus les variations dimensionnelles aux 4 angles de la grande éprouvette (figure 2a et 2b) ont été

mesurées après la phase d'hydratation et après le repos de 24 H. L'essai de perméabilité est ensuite réalisé sur une éprouvette découpée dans l'éprouvette ayant été soumise à ces 4 cycles.

2.3. Protocole INSA

Dans le contexte d'une utilisation des GSB en ouvrages souterrains, l'INSA a développé un protocole plus proche des conditions réelles, en particulier la température de séchage de la phase de dessiccation. Pour ce programme d'essais sont prélevés dans un lé de GSB, d'une part, une éprouvette de $0,4 \times 0,4$ m sur laquelle seront suivies les variations dimensionnelles à l'aide de 4 points situés aux 4 sommets d'un carré de $0,30$ m de côté ainsi que le coefficient de perméabilité déterminé en fin d'essai, et, d'autre part, huit éprouvettes de $0,2 \times 0,2$ m sur lesquelles seront suivies la teneur en eau au cours du temps ainsi que l'évolution du réseau de fissures. Comme dans la norme précédente, les éprouvettes de GSB sont découpées aux dimensions souhaitées, les bords sont fermés à l'aide d'une bande adhésive de haute résistance mécanique et thermique puis agrafés et la phase d'hydratation réalisée dans des bacs dont le fond est muni d'une plaque d'aluminium.

L'essai comprend un cycle d'hydratation de 24h où les éprouvettes sont totalement immergées dans de l'eau (eau provenant du réseau d'eau potable), puis une phase de repos durant 24 h où chaque échantillon est emballé dans un sac hermétique afin d'homogénéiser la teneur en eau. Après cette phase, les éprouvettes sont pesées et les variations dimensionnelles de l'éprouvette de $0,4 \times 0,4$ m sont mesurées. Les éprouvettes subissent ensuite une phase de dessiccation à l'étuve où elles vont être maintenues à 45°C durant 168 h. Une pesée est réalisée sur l'ensemble des éprouvettes toutes les 24 h et les mesures des variations dimensionnelles des éprouvettes de $0,4 \times 0,4$ m sont réalisées. De plus, avant la mise à l'étuve et chaque jour ensuite, un échantillon de $0,2 \times 0,2$ mm est extrait du lot pour analyser (après retrait du géotextile tissé) le réseau de fissures par prise de photos et pour déterminer par prélèvement de la bentonite sa teneur en eau. Comme dans le cas de la norme CEN, la perméabilité du GSB est déterminée à l'oedoperméamètre (Norme NF-P 84-705) après le cycle d'hydratation-dessiccation sur la grande éprouvette de GSB.

3. Présentation des résultats et analyses

3.1. Résultats pour les essais suivants la norme CEN

L'évolution de la teneur en eau mesurée en fonction des cycles est présentée sur la figure 1. L'amplitude des variations de teneur en eau a tendance à augmenter au fil des cycles, cependant les comportements des deux GSB diffèrent en amplitude. Le GSB1 gagne en teneur en eau lors des phases d'hydratation, sa teneur en eau est de 182% à la fin de la première hydratation et atteint 250% à la fin de la 4^{ème}. La teneur en eau du GSB2 est plus importante (208%) à la fin de la première hydratation, mais augmente moins après chaque cycle, elle est de 220% au 4^{ème}.

Les variations dimensionnelles horizontales de l'éprouvette de $0,4 \times 0,4$ m ont été suivies dans le sens production et dans le sens travers par la prise de mesures entre 4 points de repères positionnés à l'aide d'un gabarit au niveau des 4 angles de l'échantillon (Figure 2a et 2b). Ces valeurs ont été mesurées entre chaque point lors des différentes étapes de chaque cycle. Le GSB1 a tendance à évoluer au cours du séchage vers une forme de tuile et s'incurve sur la face du géotextile tissé, suggérant que l'assemblage tissé non tissé par aiguilletage n'est peut-être pas assez homogène. Le GSB2 quant à lui a tendance à avoir un retrait plus homogène sur l'ensemble des axes et prend une forme de trapèze en conservant sa planéité.

Les tableaux 2 et 3 présentent les variations dimensionnelles des deux GSB en pourcentage par rapport à la distance initiale entre les points (environ 30 cm) pour les différentes étapes de chaque cycle. Le retrait après les phases de repos pour le GSB1 augmente graduellement jusqu'à atteindre 30% dans le sens production, il augmente aussi dans le sens travers mais de façon 4 fois moins importante. Pour le GSB2, on observe une augmentation en moyenne de 22%, qui est plus uniforme. Pour le GSB 2 et surtout pour le GSB 1, les phases d'hydratation permettent aux éprouvettes de retrouver leur planéité sans pour autant retrouver leurs dimensions initiales. Plus le nombre de cycles augmente, plus le retrait du GSB reste présent ; on remarque qu'il est plus marqué pour le GSB1 que le GSB2 et plus important aussi dans le sens production que dans le sens travers.

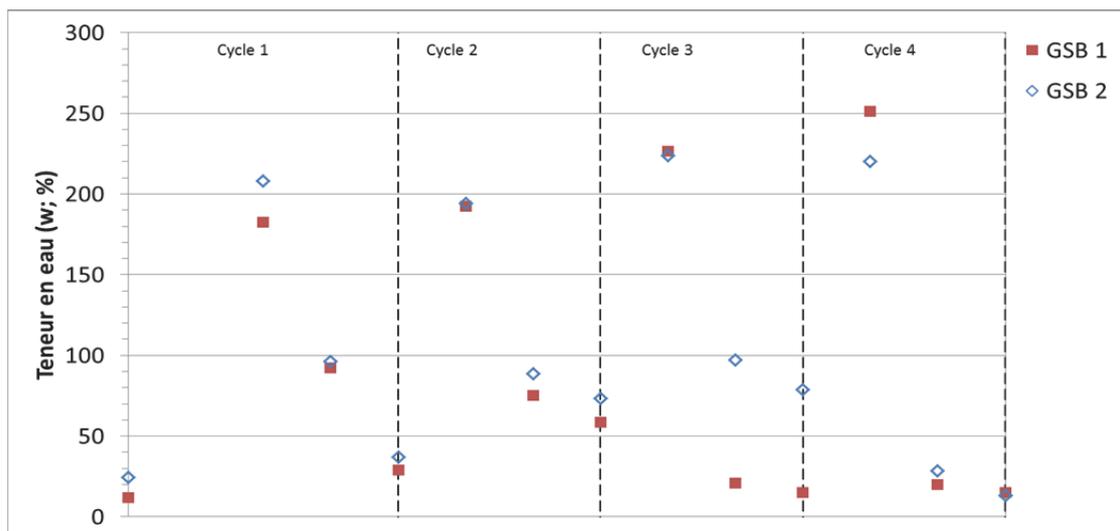
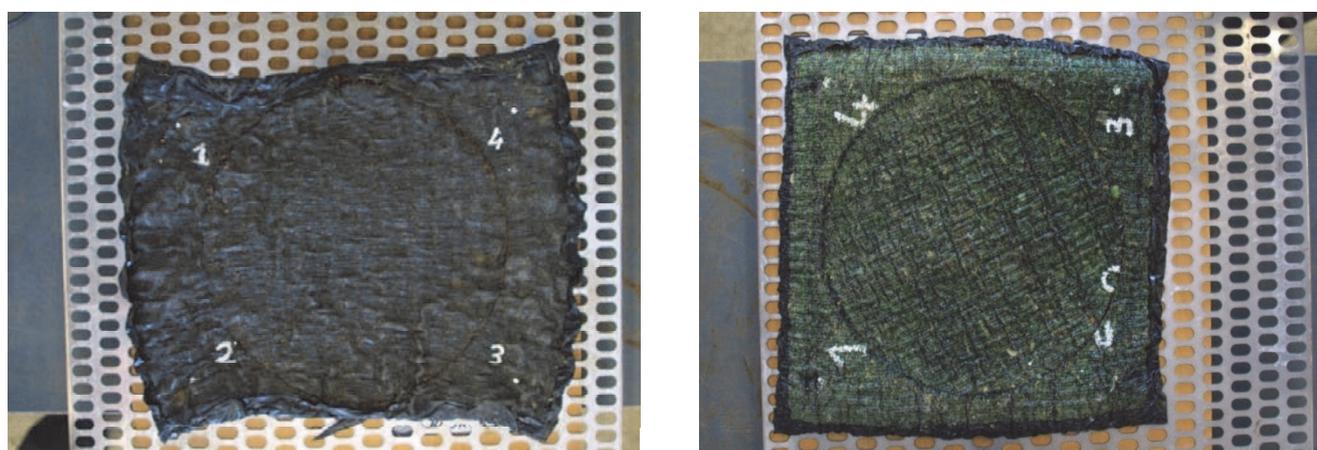


Figure 1. Evolution de la teneur en eau de la bentonite du GSB au cours des différents cycles



(a) (b)
Figures 2. GSB après les 4 cycles (a) GSB1 et (b) GSB2.

Tableau 2. Retrait- allongement en % du GSB1.

Cycles	Hydratation 1	Sec 1	Hydratation 2	Repos 2	Hydratation 3	Repos 3	Hydratation 4	Repos 4
SP 1-4	-0,3	23,6	5,7	28,4	7,4	29,0	9,8	31,1
SP 2-3	0,3	22,6	5,4	24,6	6,4	29,3	9,1	27,9
Moyenne SP	0,0	23,1	5,6	26,5	6,9	29,2	9,4	29,5
ST 1-2	0,7	5,4	3,4	8,7	4,0	11,4	4,7	10,4
ST 3-4	0,3	4,7	2,7	6,0	3,4	6,0	3,3	8,1
Moyenne ST	0,5	5,0	3,0	7,4	3,7	8,7	4,0	9,2

Légende : SP : Sens Production ST : Sens Travers

Tableau 3. Retrait- allongement en % du GSB2.

Cycles	Hydratation 1	Sec 1	Hydratation 2	Repos 2	Hydratation 3	Repos 3	Hydratation 4	Repos 4
SP 1-4	-0,7	7,8	0,0	17,6	0,7	20,7	2,0	22,0
SP 2-3	0,0	6,1	2,4	24,9	3,4	24,6	5,7	27,6
Moyenne SP	-0,3	6,9	1,2	21,3	2,0	22,6	3,9	24,8
ST 1-2	-3,4	0,3	-3,0	13,6	-3,1	16,3	-1,7	18,3
ST 3-4	-1,7	6,0	-1,3	18,5	-1,3	21,1	0,3	19,5
Moyenne ST	-2,5	3,2	-2,2	16,0	-2,2	18,7	-0,7	18,9

Légende : SP : Sens Production ST : Sens Travers

Le retrait du tissé pour la prise de photos des fissures a été extrêmement aisé pour le GSB1 et assez difficile pour le GSB2.

Les réseaux de fissures de la bentonite des GSB à la fin du cycle 1 et du cycle 4 ont été analysés. On constate pour le GSB1, dès le premier cycle, un réseau de fissures connectées très ouvertes surtout au centre de l'éprouvette, la taille de ces fissures pouvant atteindre 8 mm. L'étude des fissures du GSB2 montre une évolution de la densification du réseau au fil des cycles, l'ouverture de ces dernières augmente peu et atteint au maximum 4 mm. Les variations dimensionnelles des petites éprouvettes n'ont pas été spécialement suivies.

Cependant, nous avons constaté une similitude avec les éprouvettes de grandes tailles notamment par la forme de tuile du GSB1 (figures 3a et 3b). Le GSB2 quant à lui, montre peu de variations visuelles, le retrait paraît plus homogène (figures 4a et 4b).



(a)



(b)

Figure 3. Photos de la bentonite du GSB1(a) après 1 cycle et (b) après 4 cycles.



(a)



(b)

Figure 4. Photos de la bentonite du GSB2 (a) après 1 cycle et (b) après 4 cycles.

3.2. Résultats des essais suivant le protocole INSA

Les résultats des mesures de variation de masse des éprouvettes de 0,4 × 0,4m en fonction du temps sont présentés sur les figures 5a et 5b et celles de la teneur en eau sur les figures 6a et 6b. Les courbes montrent que le GSB2 a une cinétique plus lente lors de son séchage durant les 72 premières heures, et au bout de 120h environ de dessiccation les deux GSB présentent des teneurs en eau similaires.

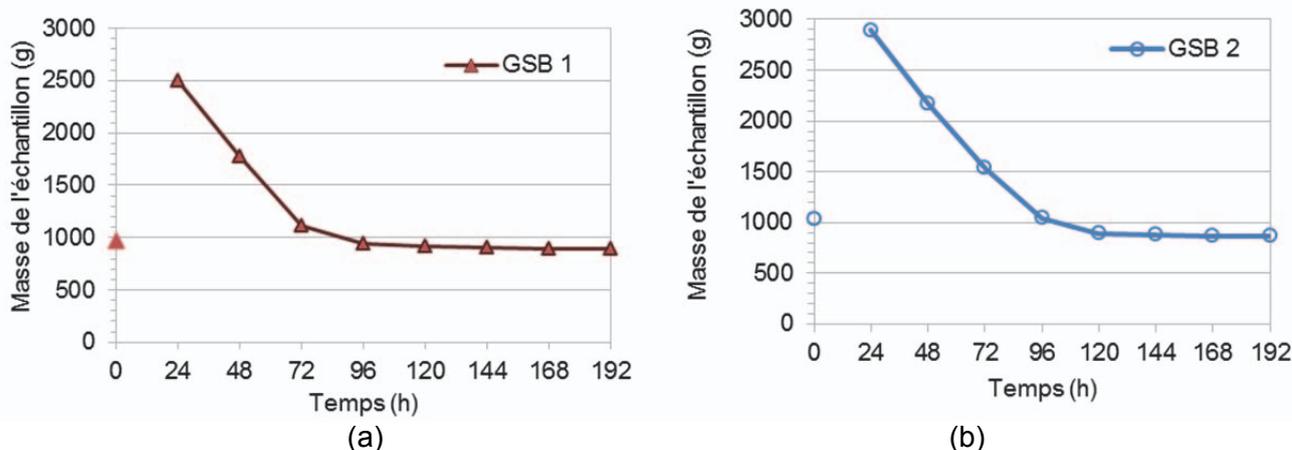


Figure 5. Évolution de la masse de l'éprouvette en fonction du temps : (a) GSB1 (b) GSB2

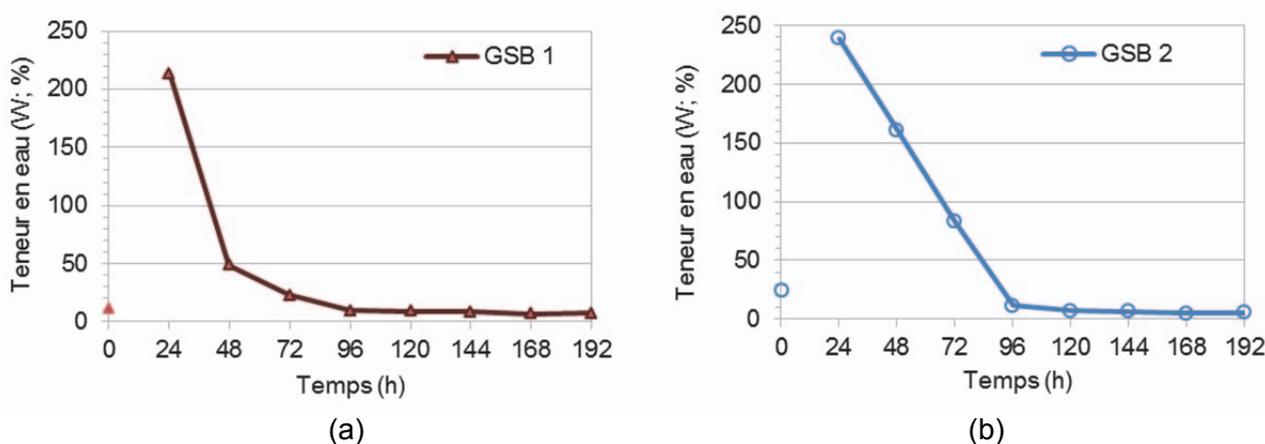


Figure 6. Évolution de la teneur en eau de la bentonite en fonction du temps : (a) GSB1 (b) GSB2

La variation dimensionnelle de l'éprouvette de 0,4 × 0,4m a été suivie suivant le même protocole que précédemment sur les deux GSB (Figures 7a et 7b). Les mesures ont été effectuées entre chaque point dans le sens de production comme dans le sens travers lors de la phase de séchage. Le mesurage des éprouvettes a été effectué toutes les 24 heures et les résultats sont présentés dans les tableaux 4 et 5. Le GSB-1 a tendance à évoluer, comme lors de l'utilisation du protocole de la norme CEN, vers une forme de tuile qui se traduit sur la figure 8a par une diminution des distances sur l'axe des ordonnées (sens production) et un pli sur l'axe des abscisses. La phase de retrait tend à se stabiliser après 72 heures de séchage en parfaite corrélation avec la teneur en eau et la perte d'eau (figures 5a et 6a). Le GSB2 a tendance à avoir un retrait plus homogène sur l'ensemble des axes (figure 8b), il est extrêmement important durant les premières 72 heures pour se stabiliser vers 96 heures (figures 5b et 6b). Nous pouvons constater un retrait supérieur lors de ce protocole de 20 mm. Les tableaux 4 et 5 présentent les variations dimensionnelles des deux GSB en pourcentage par rapport à la distance initiale entre les points (environ 30 cm) pour les différents temps de séchage. Pour le GSB1, comme dans le protocole CEN, un fort retrait (24,5% en moyenne) est constaté dans le sens production et un retrait plus modéré 5% dans le sens travers. Pour le GSB2, on constate un retrait plus homogène et plus important, de l'ordre de 32%, que pour le GSB1 et pour le protocole CEN.



(a) (b)
Figure 7 (a) GSB1 et (b) GSB2 après 192h.

Tableau 4. Retrait- allongement en % du GSB1.

Cycle	hydratation + repos	Séchage						
		24h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h	168 h
SP 2-3	0,0	6,1	20,3	22,3	23,0	23,0	24,0	24,0
SP 4-1	-0,3	4,4	16,5	24,6	24,3	24,7	25,0	25,0
Moyenne SP	-0,2	5,2	18,4	23,5	23,6	23,8	24,5	24,5
ST 1-2	0,7	1,0	4,7	5,3	4,7	5,3	5,0	5,0
ST 3-4	-0,3	0,3	3,3	4,3	4,7	4,7	4,7	5,3
Moyenne ST	0,2	0,7	4,0	4,8	4,7	5,0	4,8	5,2

Légende : SP : Sens Production ST : Sens Travers

Tableau 5. Retrait- allongement en % du GSB2.

Cycle	hydratation + repos	Séchage						
		24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h	168 h
SP 1-2	-3,7	1,7	14,4	29,1	30,8	31,4	31,8	31,4
SP 3-4	-3,0	2,0	15,1	30,9	34,2	34,6	35,6	36,2
Moyenne SP	-3,3	1,8	14,7	30,0	32,5	33,0	33,7	33,8
ST 2-3	-4,4	1,0	15,9	29,1	29,5	29,5	30,5	30,5
ST 4-1	-3,0	0,0	11,1	26,0	33,1	32,8	33,5	33,5
Moyenne ST	-3,7	0,5	13,5	27,6	31,3	31,1	32,0	32,0

Légende : SP : Sens Production ST : Sens Travers

L'analyse des photos prises après 24h et à 168h de dessiccation montrent pour le GSB1 des réseaux de fissures assez similaires à ceux observés lors des essais suivant le protocole de la norme CEN avec des ouvertures d'environ 9 mm. Pour le GSB2 les fissures s'ouvrent au cours du séchage pour atteindre une valeur maximale de 5 mm (figures 9 et 10).

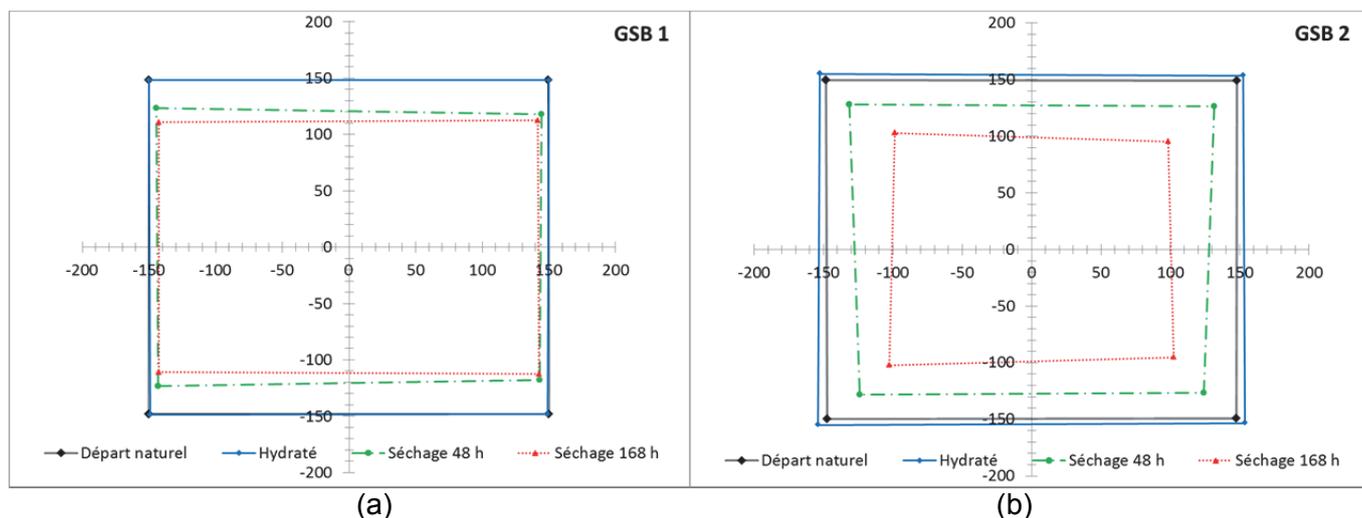


Figure 8. Suivi de la variation dimensionnelle de chaque échantillon de GSB au cours des différentes phases hydratation et dessiccation (a) GSB1 et (b) GSB2.

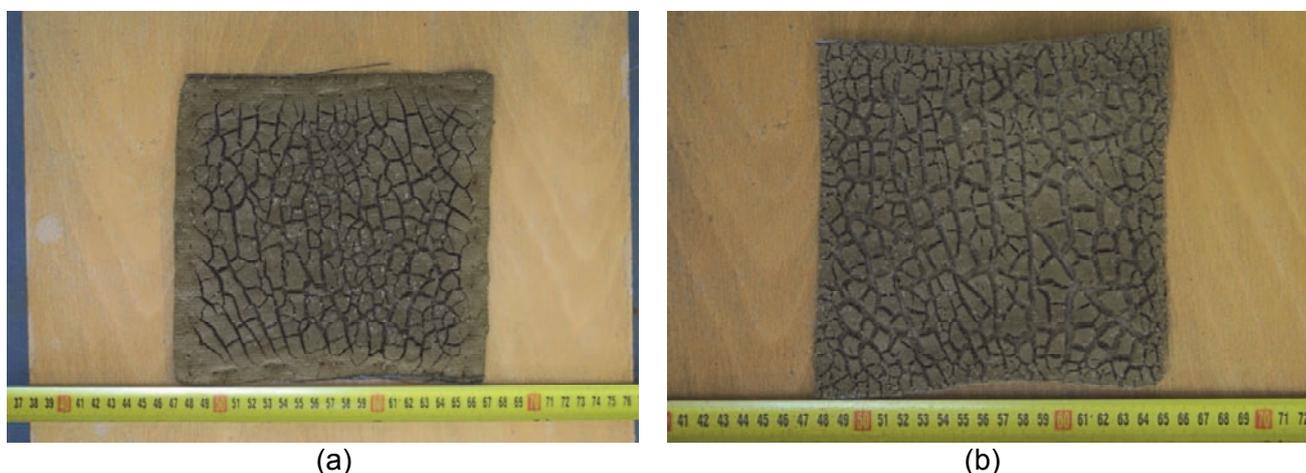


Figure 9. Photos de la bentonite du GSB1 après (a) 24 et (b) 168 h de séchage.

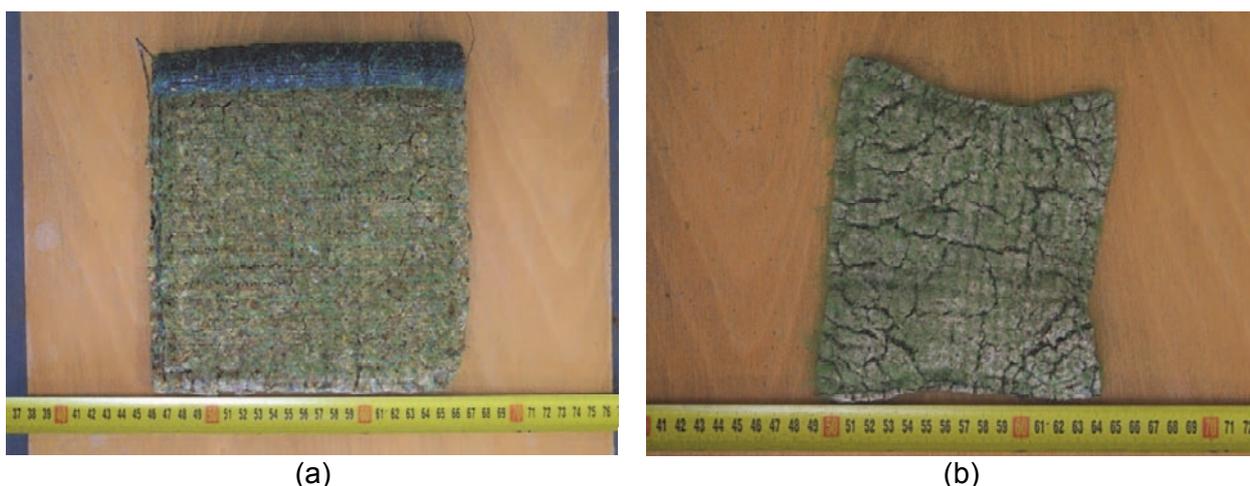


Figure 10. Photos de la bentonite du GSB2 après (a) 24 et (b) 168 h de séchage.

Les essais de perméabilités sont actuellement en cours sur les matériaux de l'actuel programme de recherche. Ces essais ont été retardés du fait de la difficulté d'obtenir, en suivant les deux protocoles, des éprouvettes planes. Précédemment (Didier et Norotte, 2008) des essais réalisés sur le GSB2 suivant le protocole INSA ont montré qu'après un cycle, nous avons, du fait de la densification de la bentonite, un gonflement plus important du GSB et un retour assez rapide, après hydratation à la valeur de la perméabilité initiale.

4. Discussion

Le tableau 6 synthétise pour les deux GSB les principaux résultats obtenus suivant les deux protocoles d'essai après un seul cycle hydratation-dessiccation.

Concernant les valeurs de la teneur en eau à l'issue de la phase d'hydratation on constate que :

- pour les deux protocoles d'essai, le GSB contenant de la bentonite granulaire a une teneur en eau supérieure de 25% à celui ayant de la bentonite en poudre ;
- bien que la durée d'immersion soit de 48 heures pour le protocole CEN et 24 heures pour le protocole INSA, pour les deux GSB la teneur en eau est supérieure de 30%. La phase de repos de 24 heures du protocole INSA, permet sans doute de mobiliser l'eau présente dans le géotextile non tissé et de mieux homogénéiser la teneur en eau.

Concernant le retrait après un cycle de séchage, on constate

- pour le GSB1, que les deux protocoles d'essai conduisent approximativement au même retrait (23% suivant le sens production et 5% suivant le sens travers).
- pour le GSB2, les retraits observés suivant les deux protocoles sont très différents (7 et 3% suivant le protocole CEN ; 34 et 32% suivant le protocole INSA). Cette différence peut être attribuée aux écarts de teneur en eau (de l'ordre de 30%) observés à l'issue des phases d'hydratation ou de séchage en suivant ces deux protocoles.

Tableau 6. Synthèse de résultats pour chacun des GSB et suivant chaque protocole d'essai

	Norme CEN		Protocole INSA	
	GSB1	GSB2	GSB1	GSB 2
Teneur en eau de la bentonite après la phase d'hydratation (%)	182,6	207,9	213,7	239,3
Teneur en eau de la bentonite après la phase de séchage durant 1 cycle (%)	29,1	36,9	7,4	5,5
Retrait moyen dans le sens production après 1 cycle de séchage (%)	23,1	6,9	24,5	33,8
Retrait moyen dans le sens travers après 1 cycle de séchage (%)	5,0	3,2	5,2	32

Ces retraits importants ne sont sans doute pas représentatifs de ce qui peut se produire sur chantier car en laboratoire les éprouvettes sont de petites tailles et reposent sur une surface lisse alors qu'in-situ la surface de pose est généralement frottante. Ces retraits in-situ devront cependant être estimés car ils conditionnent la largeur des recouvrements.

A la différence du GSB2, la planéité après séchage du GSB 1 n'est pas conservée quel que soit le protocole. Ceci pose problème pour la découpe de l'éprouvette destinée à l'essai de perméabilité. Pour ce type de GSB, il serait utile d'envisager un dispositif support lui permettant de conserver sa planéité durant la phase de séchage.

L'ensemble de ces comparaisons permettent de s'interroger sur les conditions d'essai du protocole de la norme CEN, dans le cas de l'utilisation d'un GSB en ouvrage souterrain. En effet, il ne semble pas très réaliste de faire subir au GSB quatre cycles d'humidification-dessiccation car sur chantier la durée d'exposition aux conditions climatiques défavorables ne sera jamais aussi longue. De plus, la température de séchage de 110 °C ne paraît pas réaliste vis-à-vis des conditions *in situ*. C'est pourquoi nous proposons donc dans ce contexte de ne réaliser qu'un seul cycle sous contrainte nulle en utilisant la température de séchage de 45°C, utilisée dans le protocole INSA.

4. Conclusions

Cette étude a permis de comparer l'influence des cycles d'hydratation-dessiccation sur deux GSB en fonction de deux protocoles d'essais. Les teneurs en eau des bentonites ainsi que les variations dimensionnelles des GSB nous ont permis de montrer que la durée d'un cycle de séchage est plus importante que le nombre de ces derniers.

Les paramètres du protocole de la norme prCEN /TS 14417 (contrainte, nombre de cycles, température de séchage) ne sont pas adaptés à une caractérisation des GSB vis-à-vis de leur utilisation en ouvrages souterrains. Nous recommandons pour ce type d'ouvrage d'utiliser le protocole INSA avec quelques adaptations, afin d'éviter que le GSB perde sa planéité lors du séchage

Dans le cas d'un GSB confiné à l'avancement avec une épaisseur de matériaux telle qu'une période de sécheresse prolongée puisse conduire à sa dessiccation, il pourra être utile de réaliser plusieurs cycles d'hydratation-dessiccation en laboratoire sous contrainte de service en utilisant comme eau d'hydratation (et d'essai de perméabilité) celle issue de la lixiviation du matériau de confinement. Le contenu ionique de l'eau d'hydratation après séchage du GSB peut avoir un effet négatif sur le gonflement de la bentonite et donc sur la fermeture des fissures.

Afin de valider les observations faites en laboratoire dans le cadre de cette étude, il serait utile, par des instrumentations in-situ, de suivre la cinétique de dessiccation des GSB en fonction des conditions réelles d'exposition (absence ou présence de matériaux de confinement ainsi que leur nature-conditions climatiques...).

5. Remerciements

Les auteurs remercient le centre d'études des tunnels (CETu) qui a financé le programme expérimental intitulé «hydratation-dessiccation des GSB».

6. Références bibliographiques

- AFNOR (1995). NF P 94-050. *Sols reconnaissances et essais - Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux*, Association Française de Normalisation (AFNOR), Paris, France.
- AFNOR (2002). XP P 84-703. *Géosynthétiques bentonitiques - Détermination de la capacité de gonflement des géosynthétiques bentonitiques*, Association Française de Normalisation (AFNOR), Paris, France.
- AFNOR (2008). NF P 84-705. *Géosynthétiques bentonitiques - Détermination à l'oedoperméamètre des caractéristiques de gonflement, flux et perméabilité des géosynthétiques bentonitiques (GSB)*, Association Française de Normalisation (AFNOR), Paris, France.
- AFNOR (2004). NF EN 14196. *Géosynthétiques bentonitiques - Méthodes d'essai pour la détermination de la masse surfacique des géosynthétiques bentonitiques*, Association Française de Normalisation (AFNOR), Paris, France.
- CEN (2004). prCEN/TS 14417. *Géosynthetic barriers – Test method for the determination of the influence of wetting-drying cycles on the permeability of clay geosynthetic barriers*, European Committee for Standardization.
- AFNOR (2005). NF EN 13491 - *Géomembranes, Géosynthétiques bentonitiques - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des tunnels et ouvrages souterrains*, Association Française de Normalisation (AFNOR), Paris, France. 35 pages.
- Comité Français des Géosynthétiques (CFG) (1998). Fascicule 12. *Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géosynthétiques bentonitiques*, 60 pages.
- Comité Français des Géosynthétiques (CFG) (2011). Fascicule 13. *Recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques bentonitiques en installations de stockage de déchets*, 85 pages.
- Didier G., Norotte.V. (2008). *Performance hydraulique du Voltex DS après un cycle humidification / séchage*. Étude réalisée par INSAVALOR – LGCIE, Villeurbanne, 10 pages.
- Didier G., Norotte V., Touze-Foltz N., Mazzoleni G., Mahuet J.L. (2009). *Influence d'une préhydratation sans confinement sur les performances hydrauliques d'un géosynthétique aiguilleté*. *Rencontres Géosynthétiques*, pp. 347-354.