HAL
open science

Comparaison in situ des performances d'une argile et de géosynthétiques bentonitiques en couverture de décharge

S. Poignard

To cite this version:

S. Poignard. Comparaison in situ des performances d'une argile et de géosynthétiques bentonitiques en couverture de décharge. Ingénieries eau-agriculture-territoires, 2000, 23, p. 47 - p. 60. hal-00464416

HAL Id: hal-00464416

https://hal.science/hal-00464416v1

Submitted on 17 Mar 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Comparaison *in situ* des performances d'une argile et de géosynthétiques bentonitiques en couverture de décharge

Sandrine Poignard

La réglementation française (instruction technique du 22 janvier 1980) classe les sites de décharge en trois catégories, en fonction de la nature des déchets admissibles :

- Classe I : déchets industriels spéciaux. Le confinement doit se faire sur un site imperméable ;
- Classe II : déchets ménagers et déchets industriels banals. Cela concerne des sites semi-perméables qui assurent une migration lente des lixiviats à travers une zone non saturée d'épaisseur suffisante ;
- Classe III : déchets inertes. Cela concerne les sites perméables qui permettent une migration rapide des lixiviats.

Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons plus particulièrement aux couvertures de décharge de classe II. Mises en œuvre après le comblement de chaque casier, elles assurent des fonctions multiples parmi lesquelles le contrôle des flux hydriques pénétrant dans les déchets et le maintien de l'intégrité de la surface du casier après sa fermeture. Cependant, si elle impose la mise en œuvre d'une couverture finale sur les casiers, la législation (arrêté ministériel du 9/9/97 relatif aux décharges existantes et aux nouvelles installations de stockage de déchets ménagers et assimilés, JO du 2/10/97) n'en spécifie pas la constitution. De plus, entre l'article 47 de ce texte et le guide technique associé à cette loi, les recommandations varient fortement :

Art. 47 (arrêté ministériel) : « […] une couverture finale est mise en place pour limiter les infiltrations d'eau dans les déchets […] »

Art. 47 (guide technique associé) : « la couverture doit permettre un apport d'eau dans les déchets afin de favoriser l'achèvement de la fermentation des déchets. »

Sans être antinomiques, ces deux textes montrent bien l'ambiguïté de la législation actuelle et l'absence d'un point de vue arrêté sur la fonction « barrière » de la couverture.
C'est pourquoi, L'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) coordonne un programme national intitulé *Couvertures*, cofinancé par les industriels impliqués, et qui vise à éclairer la réglementation, orienter le choix des exploitants en la matière et définir des critères de bonne pratique. La finalité de cette étude, de trois ans au moins, est la rédaction par le BRGM (Bureau des recherches géologiques et minières) et l'ADEME d'un guide technique consacré aux couvertures. La parution de ce document est prévue pour l'été 2001.
Ce programme national se sous-divise en deux thèmes principaux basés sur l'aspect mécanique et l'aspect hydraulique des couvertures. Il regroupe les principaux acteurs du stockage de déchets ménagers en France (figure 1).

Dans ce contexte, le CreeD (Centre de recherches pour l'environnement, l'énergie et le déchet) du groupe Vivendi, en collaboration avec le laboratoire de géologie appliquée de l'université Paris-VI et le laboratoire de géotechnique de l'INSA (Institut national des sciences appliquées) de Lyon, a développé un programme visant à comparer les performances hydriques et l'évolution dans le temps de plusieurs complexes de couvertures.

Sandrine Poignard
CreeD (Centre de recherches pour l'environnement, l'énergie et le déchet), zone portuaire de Limay, 78520 Limay

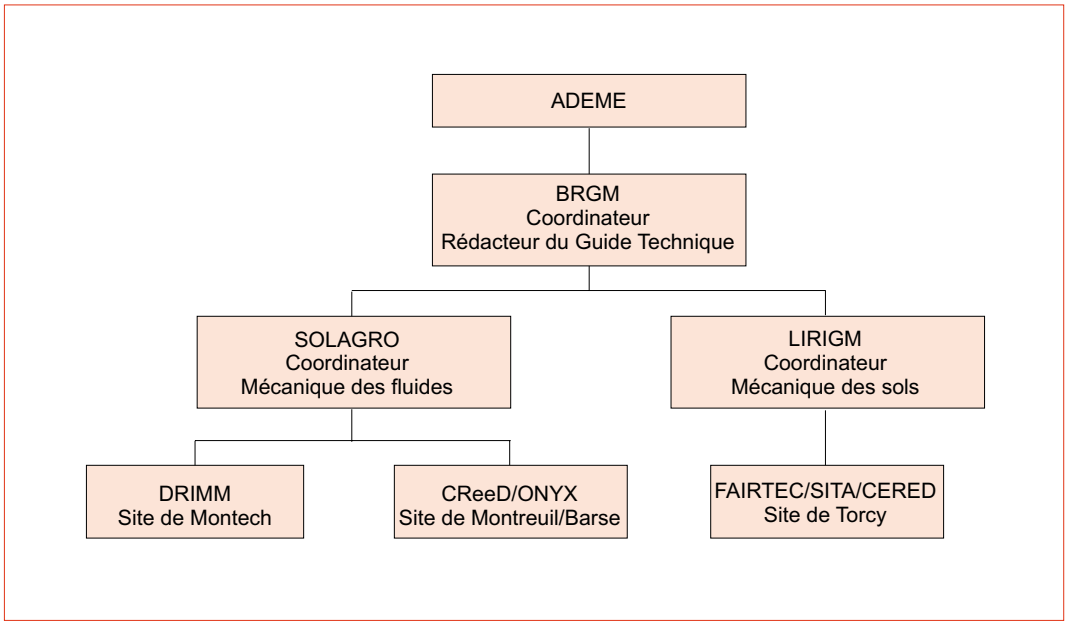


Figure 1. – Organigramme du groupe de travail *Couvertures*.

Les couvertures de décharge étant à l'interface entre le milieu extérieur et les déchets, elles sont soumises aux aléas climatiques, non reproductibles en laboratoire. En conséquence, seule une expérimentation *in situ* sur casier réel était susceptible, d'une part, de nous fournir les informations nécessaires à la compréhension des flux hydriques dans les structures multicouches hétérogènes, et d'autre part, de nous permettre de quantifier les volumes réels d'eau pénétrant dans les déchets.

Sur le site de Montreuil-sur-Barse (Aube) exploité par ONYX, quatre casiers ont été réalisés avec différentes configurations de couvertures (Poignard *et al.*, 1999), instrumentées de manière à caractériser et comparer leurs comportements hydriques, thermiques et mécaniques. Les données concernant les flux hydriques, l'état de saturation des matériaux, les températures et les tassements ont été recueillies depuis 1997. Cet article présente les informations hydriques, thermiques et mécaniques issues de ces données concernant l'équivalence possible entre une couverture à base d'argile et une couverture intégrant un GSB (géosynthétique bentonitique). Enfin, l'intérêt d'un drainage à l'interface terre végétale/étanchéité est discuté.

Les moyens

Les configurations de couverture

Les quatre casiers expérimentaux, ayant chacun une superficie d'environ 2 000 m², ont été couverts en octobre 1996. L'expérience menée sur le site a pour but premier de comparer deux matériaux d'étanchéité ayant une conductivité hydraulique en accord avec la réglementation française en vigueur : une argile et un géosynthétique bentonitique (figure 2).

Pour cela, deux des quatre casiers sont munis d'une couverture comportant un GSB, les deux autres sont équipés d'une couverture intégrant un mètre d'argile (figure 3).

De manière complémentaire, nous avons cherché à mesurer l'impact de la pente des couvertures sur les flux hydriques car c'est un paramètre majeur de dimensionnement : en effet, il s'agit de déterminer la pente optimale permettant de stocker un volume important de déchets tout en préservant la stabilité mécanique de la couverture. Bien que ne disposant pas ici de pente très forte du fait de la configuration des casiers, nous pouvons comparer, pour chaque type de couverture (argile et GSB), deux pentes différentes : 3 % et 10 %.

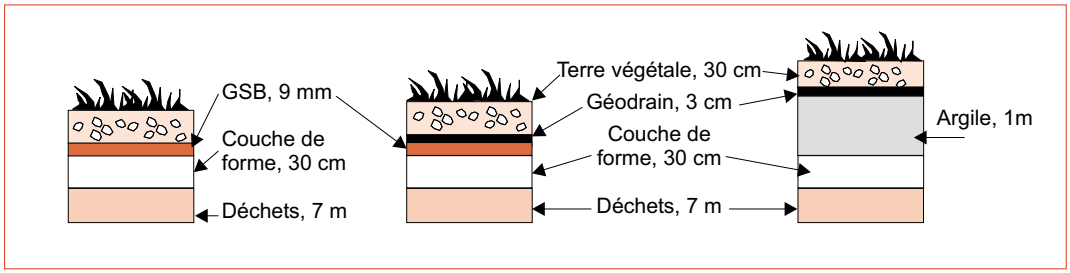


Figure 2. – Coupes schématiques des complexes de couvertures testés.

Enfin, les structures de drainage situées à l'interface entre la couche de confinement (la terre végétale) et l'étanchéité (A ou GSB) sont indissociables des structures d'étanchéité. Ainsi, nous appréhendons l'impact des matériaux drainants sur les comportements hydrauliques des matériaux d'étanchéité en couverture.

En conséquence, nous ne comparons pas seulement deux matériaux d'étanchéité différents mais bien des structures d'étanchéité-drainage différentes, de par leur composition et leur pente.

Les couvertures ont été instrumentées de manière à obtenir les données nécessaires à la réalisation de différentes études, conjointement menées :

– le calcul du bilan hydrique et l'analyse du comportement hydraulique ;

– la caractérisation des paramètres hydriques des matériaux (teneur en eau, perméabilité, succion) ;

– la mesure des tassements du massif de déchets.

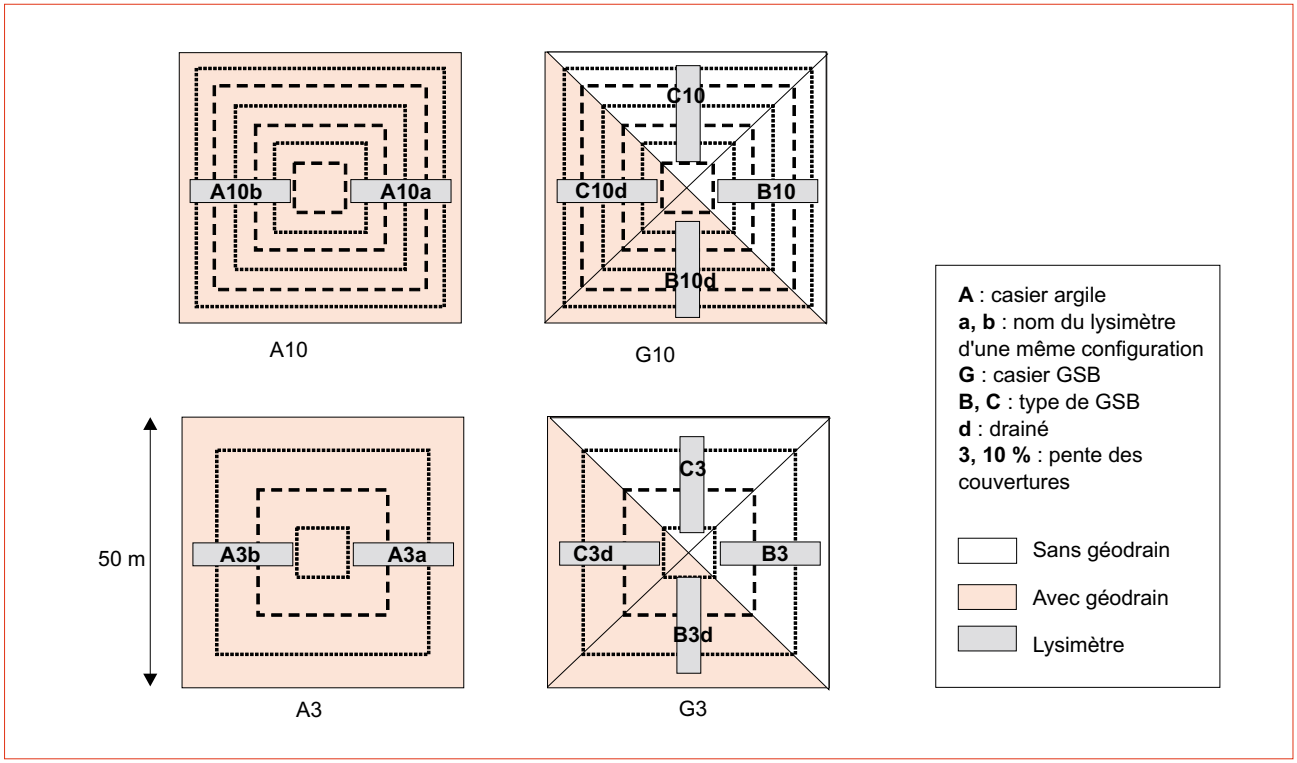


Figure 3. – Configurations des casiers (vue de dessus).

Les matériaux d'étanchéité

L'argile utilisée provient du site. Il s'agit d'un mélange d'argile du Gault et d'argile de l'Armance (stratigraphiquement très proches). Du point de vue minéralogique, elles sont toutes deux composées de 40 % de smectite, de 30 % d'illite et de 30 % de kaolinite. Elles comportent également un peu de quartz et très peu de calcite. Elles ont été mises en place et compactées avec une énergie inférieure à l'optimum Proctor.

Les géosynthétiques employés (encadré), sont de deux types : l'un est cousu (type C) et l'autre aiguilleté (type B).

L'étude du comportement hydraulique

Le bilan hydrique

Le bilan hydrique s'établit comme suit :

$$P = ETR + R + D + Pc + \Delta S$$

P : la pluie.
ETR : l'évapotranspiration réelle, obtenue à partir de la pluie et de l'évapotranspiration potentielle.
R : le ruissellement.
D : l'eau drainée à l'interface terre végétale/étanchéité.
Pc : les percolats.
ΔS : la variation du stock d'eau dans le sol.

L'ensemble des flux entrants (précipitation) et des flux sortants (ruissellement en surface, drainage sous la terre végétale dans le géodrain et percolats s'infiltrant dans les déchets) sont mesurés sur site.

Les flux sortants, qui n'ont aucun contact avec les déchets, sont ensuite évacués vers le milieu récepteur. L'évapotranspiration potentielle (ETP) est directement fournie par Météo France. Les données ont été recueillies durant trois années dans le but d'établir des bilans hydriques pour chaque configuration.

Encadré

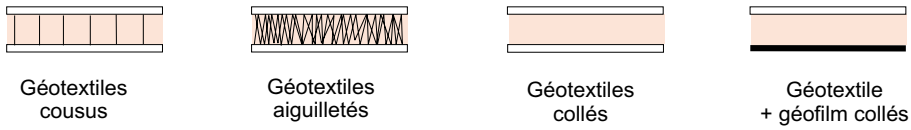
Les géosynthétiques bentonitiques

Un géosynthétique bentonitique (GSB) est défini comme un produit manufacturé en forme de nappe associant des géosynthétiques à de la bentonite. Il est utilisé dans le domaine de la géotechnique et du génie civil et assure une fonction d'étanchéité (CFG, 1998).

La bentonite est une argile de la famille des smectites et se compose de plus de 60 % de montmorillonite.

Les géosynthétiques bentonitiques (figure 4) se composent généralement de bentonite sodique insérée entre deux géotextiles ou un géotextile et une géomembrane. Les différences principales entre les produits résident dans la forme de la bentonite (granulaire ou en poudre), dans la nature et l'assemblage des géotextiles (aiguilletés, cousus, collés).

Figure 4 : Différents types de GSB.



La particularité de ce type de produit est liée à une propriété physico-chimique de la montmorillonite. Du fait des liaisons faibles entre les feuillets d'argile, ces matériaux ont de très fortes capacités de gonflement lorsqu'ils sont hydratés. Ainsi, lorsqu'elle n'est pas confinée, une bentonite sodique hydratée peut atteindre 15 fois son épaisseur sèche, passant ainsi de 6 à 90 mm d'épaisseur. Cependant, en couverture de décharge, les GSB sont confinés par un sol d'une épaisseur minimale de 50 cm. L'épaisseur du géosynthétique est alors limitée à 10 mm environ.

La perméabilité de ces produits est celle de la bentonite confinée. La bentonite la plus utilisée est la bentonite sodique du Wyoming. Sa perméabilité est de l'ordre de 10^{-12} m.s^{-1}. Cette très faible valeur permet théoriquement l'emploi des GSB en remplacement de l'argile dans les couvertures de décharge.

La caractérisation des matériaux

La succion (énergie nécessaire pour extraire l'eau du sol) est un paramètre facilement mesurable sur le terrain, que l'on peut relier à la teneur en eau par une relation expérimentale établie au laboratoire. Elle est mesurée à l'aide de tensiomètres qui sont composés d'une bougie poreuse reliée à un tube rempli d'eau inséré dans le sol. Ainsi, si le sol se dessèche, il y a un flux d'eau depuis la bougie vers le sol afin de rétablir les équilibres de pression de part et d'autre. Une fois cet équilibre obtenu, il est mesuré et nous obtenons la succion. Lorsque la valeur est supérieure ou égale à zéro, le sol est saturé. Nous pouvons ainsi caractériser les propriétés hydriques des différents matériaux de couvertures.

Dans les couvertures argileuses, la succion est mesurée à différentes profondeurs, dans la terre végétale et l'argile jusqu'à la couche de forme. Afin d'étudier la direction des écoulements dans les couvertures tout au long de l'année, les valeurs obtenues sont transformées en charge hydraulique, selon la relation suivante :

$$h = \psi + z$$

h : charge hydraulique.
ψ: succion.
z : la profondeur.

Dans les couvertures avec des géosynthétiques, des tensiomètres sont implantés de part et d'autre de l'étanchéité.

L'étude du comportement mécanique

Les tassements du massif de déchets peuvent provoquer des dégradations dans les complexes de couverture. Pour en mesurer l'importance, des tassomètres ont été installés dans le massif de déchets en 1995, à différentes profondeurs et à différentes distances des talus limitrophes des casiers. Les tassomètres sont des cellules remplies d'air et d'eau que l'on dispose dans le massif dont on souhaite mesurer le tassement.

Certains de ces instruments sont maintenant hors service compte tenu des mouvements des déchets à certains endroits. Cependant, les instruments restant ont permis de suivre les tassements dans les déchets et leurs répercussions dans les couvertures. De plus, un plan topographique de chaque casier a été réalisé deux fois par an. Enfin, des excavations ont été pratiquées afin de vérifier l'intégrité des matériaux et de localiser d'éventuels dysfonctionnements.

Les résultats/les interprétations

Les volumes de percolats

Les couvertures argileuses

La moyenne des volumes recueillis durant trois années est présentée dans le tableau 1.

Pour les couvertures à base d'argile, les ratios percolats/pluie sont inférieurs à 12 % (mesures

Configurations			Ratio percolats/pluie	Observations
Argile, pente 3 %		A3a	11,6 %	
		A3b	1,3 %	
Argile, pente 10 %		A10a	8,9 %	
		A10b	0,2 %	
GSB, pente 3 %	type B	drainé	0,7 %	
		non drainé	8,5 %	
	type C	drainé	0,9 %	
		non drainé	8 %	étanchéité défectueuse
GSB, pente 10 %	type B	drainé	12,8 %	lysimètre défectueux
		non drainé	8,7 %	
	type C	drainé	5,7 %	étanchéité défectueuse
		non drainé	21,9 %	étanchéité défectueuse

Tableau 1. – Ratios moyens percolats/pluie.

sur deux ans au pas de temps journalier). Cependant les valeurs fluctuent de 0,2 à 11,6 % suivant les lysimètres, sans rapport avec la pente des casiers. Les variations climatiques locales ne suffisent pas à expliquer une telle différence. En effet, les portions de couvertures fournissant le moins de percolats (A3b et A10b) sont situées au vent (et à la pluie), au NNO. Or, en cas d'influence climatique locale, elles devraient fournir davantage que les configurations A3a et A10a.

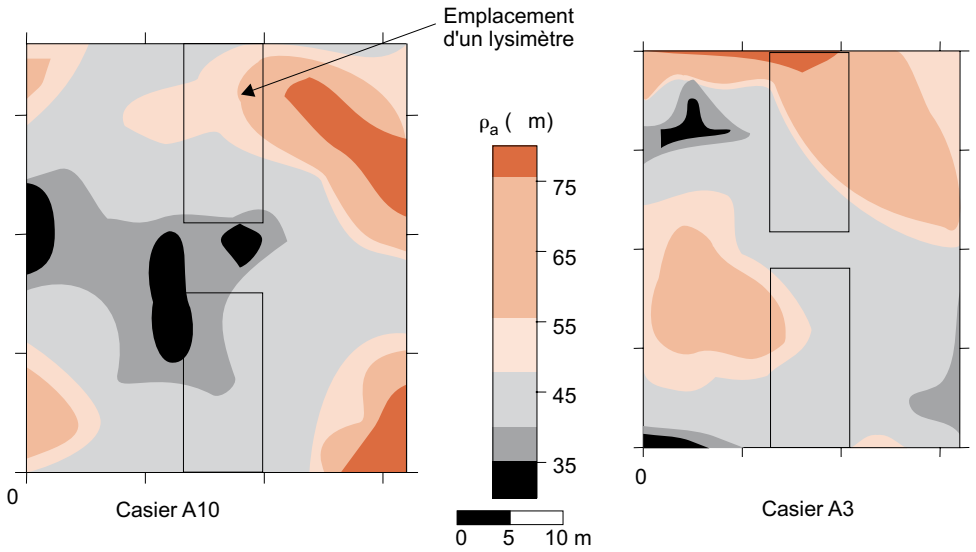
Cet appariement des portions de couvertures élimine également la pente comme facteur premier ayant une influence sur les volumes de percolats. En effet, nous vérifions qu'une fois dans le sol, le cheminement de l'eau est gouverné par la gravité terrestre et non par la pente des couvertures si elle ne rencontre pas d'interface. Il semble donc qu'une (des) cause(s) interne(s) à la couverture soit responsable des disparités observées.

L'hypothèse sur laquelle nous avons travaillé est l'hétérogénéité du matériau argileux. Elle a été envisagée du fait de la variabilité des mesures de perméabilité surfacique comprises entre 2.10^{-9} et 2.10^{-11} $m.s^{-1}$. Afin de tenter de quantifier plus précisément cette hétérogénéité, une cartographie de la résistivité électrique des sols de couvertures a été réalisée (*cf.* Panissod *et al.*, en préparation). Elle permet de mettre en évidence des zones très contrastées en résistivité sur un même casier (figure 5), qui, reliées à la teneur en eau et à la conductivité hydraulique du matériau, démontrent l'hétérogénéité de l'argile utilisée.

De plus, des observations visuelles ont permis de localiser des poches sablo-limoneuses, responsables de l'hétérogénéité du matériau (l'argile n'a pas été mélangée lors de sa mise en œuvre) et de la variabilité des flux observés sur un même casier.

Des calculs de conductivité hydraulique ont été entrepris pour chaque lysimètre.

Nous disposons de trois périodes de calcul : 1997/1998, 1998/1999 et 1999/2000. Les résultats (tableau 2) montrent d'une part, que l'hétérogénéité du matériau argileux se retrouve aisément au niveau des propriétés hydrauliques, et d'autre part, qu'il existe une évolution des résultats vers des valeurs de plus forte perméabilité. Il semble donc qu'il y ait une dégradation du matériau argileux au cours du temps (trois lysimètres sur quatre). Il faut cependant noter que l'un des lysimètres fournit des résultats inverses : le matériau semble s'être amélioré avec le temps. Ces observations sont interprétées à plus loin à l'aide des données de tensiométrie et de tassements.



▶ Figure 5. – Cartes de résistivité électrique sur les casiers A3 et A10.

Les couvertures GSB

Pour les couvertures intégrant un GSB, des volumes fiables de percolats sont difficiles à obtenir du fait de défauts dans l'étanchéité. Sur le casier G10, des excavations ont été pratiquées afin de localiser les problèmes suspectés. Elles montrent notamment qu'en des endroits sensibles, tels que la proximité des puits de lixiviats où des tassements sont fréquents (difficultés de manœuvre des compacteurs de déchets), les matériaux d'étanchéité présentent des plis et des déchirures et que la continuité de la bentonite entre les deux géotextiles n'est plus assurée. Ailleurs, la bentonite est sortie des géotextiles. Enfin, l'étanchéité latérale de certains lysimètres a disparu. Ces défauts sont imputables à la mise en œuvre des matériaux qui s'est effectuée, pour ce casier, sous des conditions climatiques très défavorables pour ce genre de travaux.

Par ailleurs, ces résultats permettent de mettre en évidence la meilleure tenue des GSB aiguilletés par rapport aux GSB cousus.

Sur le casier G3, les problèmes repérés lors des excavations sont moins nombreux, et nous considérons les configurations comme fiables. Les ratios percolats/pluie sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus pour les couvertures argileuses. Ceci tendrait à montrer l'équivalence, en terme de flux hydriques, entre ces deux matériaux, compte tenu des défauts localisés sur les configurations GSB et les problèmes d'hétérogénéité constatés sur les configurations argile.
De plus, sur le casier G3, l'influence de la couche drainante sous la terre végétale est clairement mise en évidence. Ainsi, le géodrain réduit la charge hydraulique sur l'étanchéité, ce qui conduit à un volume de fuite qui peut atteindre une valeur 10 fois inférieure à celle obtenue pour une couverture non drainée.

Cette réduction de la charge est confirmée par des mesures de la hauteur de la nappe temporaire dans la terre végétale pour des configurations drainées et non drainées (figure 6). Enfin, nous constatons que ce phénomène est d'autant plus marqué que la pente des couvertures est importante (figure 7). Ainsi, pour les couvertures intégrant un géosynthétique bentonitique, la pente a une influence notable sur les volumes d'eau drainés à l'interface entre la terre végétale et l'étanchéité et donc sur le débit de fuite au travers du GSB.

Les résultats précédents nous ont conduits à estimer la quantité d'eau de pluie amenée aux déchets, sur une échéance de 30 ans (durée de la phase de post-exploitation du site) pour chaque configuration de couverture (tableau 3).
Pour cela, nous avons considéré les volumes de percolats recueillis sous la couverture pour chaque lysimètre (superficie d'environ 30 m²) et ex-

	A3a ($m.s^{-1}$)	A3b ($m.s^{-1}$)	A10a ($m.s^{-1}$)	A10b ($m.s^{-1}$)
hiver 97/98	$1,9.10^{-09}$	$3,0.10^{-12}$	$1,6.10^{-09}$	$3,3.10^{-10}$
hiver 98/99	$2,5.10^{-09}$	$3,1.10^{-11}$	$3,8.10^{-09}$	$1,4.10^{-11}$
hiver 99/00	$1,1.10^{-08}$	$1,6.10^{-09}$	$4,3.10^{-09}$	$2,7.10^{-11}$

Tableau 2. – Calcul de conductivité hydraulique.

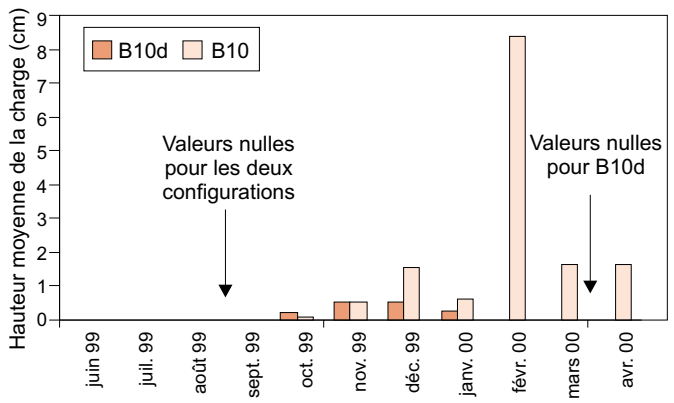


Figure 6. – Valeur de la charge, configurations B10 et B10d.

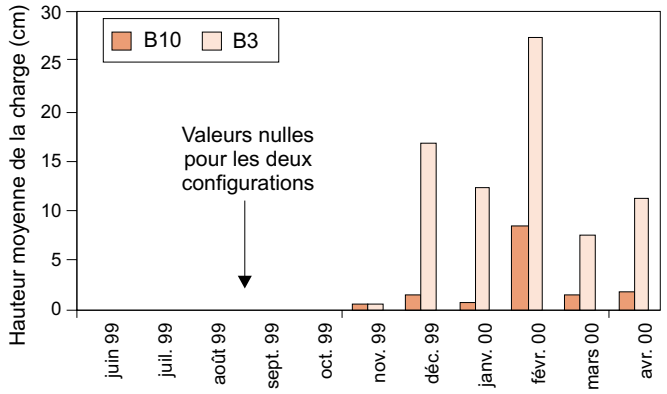


Figure 7. – Valeur de la charge hydraulique, casier 3 et 10%.

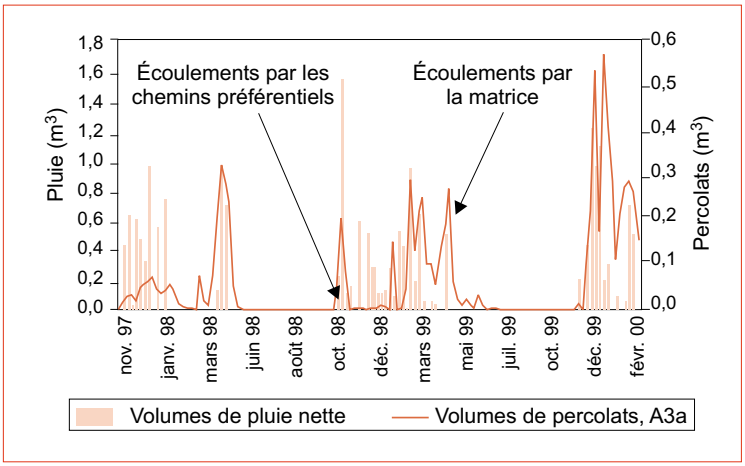
trapolé ces valeurs à l'échelle d'un casier (superficie de 2 000 m²). Connaissant le tonnage de déchets entrants pour chaque casier, nous avons ramené les résultats obtenus à la tonne de déchets puis extrapolé les valeurs sur une période de trente ans. Pour réaliser cette estimation, nous avons émis l'hypothèse que l'infiltration de l'eau au travers des couvertures était constante en moyenne sur ces trente ans. Or, nous savons que les matériaux se dégradent avec le temps et que les volumes obtenus sont certainement sous-estimés. Par ailleurs, nous n'avons pas tenu compte du drainage de l'eau en fond de casier (lixiviats), ni de l'humidité initiale des déchets. Ces pourcentages représentent donc les proportions eau/déchets que nous obtiendrions dans le cas où nous mettrions de manière instantanée ces deux composantes ensemble dans un casier, immédiatement refermé par la suite, et non drainé en fond.

Mis à part le casier G10 où les défauts sont nombreux et les résultats peu fiables, nous constatons que les quantités d'eau provenant de la pluie, une fois le casier fermé, sont de l'ordre de 40 % de la masse de déchets pour les configurations GSB non drainées et l'argile de forte conductivité hydraulique, de l'ordre de 3 % pour les couvertures GSB drainées et de l'ordre de 0,3 % pour l'argile de faible conductivité hydraulique (en considérant que la densité des déchets compactés est de l'ordre de 0,8).

En fonction de l'objectif d'infiltration fixé et des matériaux choisis, il faudra donc apporter toute son attention à la mise en œuvre des matériaux argileux (approvisionnement contrôlé, mélange éventuel si l'argile n'est pas homogène et compactage soigneux) et à la pose des GSB (intervention de poseurs certifiés et contrôle qualité). En outre, il faut envisager une interface drainante entre l'étanchéité et la couche support de la végétation afin de réduire la charge hydraulique appliquée sur l'étanchéité géosynthétique.

▼ Tableau 3. – Quantité d'eau apportée par la pluie, estimée sur trente ans.

	A3a	A3b	A10a	A10b
m³ d'eau / t de déchet estimé sur 30 ans	0,6	0,003	0,4	0,006
% d'eau dans les déchets estimé sur 30 ans	48	0,25	32	0,48
	B3d	**B3**	**C3d**	**C3**
m³ d'eau / t de déchet estimé sur 30 ans	0,03	0,4	0,05	0,7
% d'eau dans les déchets estimé sur 30 ans	2,4	32	4	56
	B10d	**B10**	**C10d**	**C10**
m³ d'eau / t de déchet estimé sur 30 ans	0,6	0,4	0,3	0,5
% d'eau dans les déchets estimé sur 30 ans	48	32	24	40



▲ Figure 8. Pluie nette et percolats, casier A3.

Les comportements hydrauliques

En l'absence de valeur de ruissellement (R) pour l'ensemble de la période d'expérimentation, nous avons comparé les volumes de percolats à la pluie nette (P-ETR) et non à l'infiltration (P-ETR-R). Les résultats montrent qu'il y a percolation dès que la pluie nette est positive, à la fois pour les couvertures argileuses et les couvertures GSB (figures 8 et 11).

Cependant, nous constatons que les mécanismes d'écoulement sont différents : pour l'argile, les pics initiant la percolation (figure 8) au début de la saison des pluies sont à attribuer aux chemins préférentiels (fissures dans la terre végétale, microfissures et zones de plus forte conductivité hydraulique dans l'argile). Par la suite, il se produit un phénomène de saturation de la matrice argileuse qui relâche peu à peu de l'eau une fois celle-ci saturée. Les écoulements perdurent alors après l'arrêt de la pluie nette.

Ce phénomène de saturation est mis en évidence sur les graphes de double cumul pluie nette-percolats (figure 9), pour les deux premiers hivers de mesure. Nous observons en effet l'accroissement du volume de pluie nette cumulé sans accroissement du volume de percolats cumulé puis une inversion du phénomène (percolation lorsque la pluie nette est nulle). Ce graphe montre également que la troisième période de percolation a lieu durant la saison hivernale, lorsque les écoulements s'effectuent majoritairement par des chemins préférentiels, ce qui indique une dégradation des matériaux au cours du temps.

Pour les couvertures GSB, nous n'observons pas ou peu de phénomène de saturation (pas de relargage après l'arrêt de la pluie nette). En effet, la percolation de l'eau s'effectue surtout par pics, indiquant un effet piston de l'eau qui accroît le débit de fuite au travers du GSB quand la charge sur l'étanchéité est importante. Ceci est accentué (figure 10) pour les couvertures exemptes de couche drainante où des mesures piézométriques dans la terre végétale mettent en évidence l'apparition d'une nappe temporaire sur les parties non drainées.
En effet, il y a un facteur de l'ordre de dix d'écart, en période hivernale, entre les volumes collectés en zone drainée et ceux en zone non drainée.

De plus, nous observons (figure 11) que les volumes collectés durant la seconde période de percolation sont plus importants que sur les autres périodes, et ce pour toutes les configurations GSB. Nous avons tout d'abord vérifié que le comportement global des différentes portions de casier ne variait pas avec le temps, sur les trois années de mesure. Ceci étant établi à l'aide des courbes de double cumul, les résultats obtenus traduisent alors une détérioration de l'étanchéité (gel et/ou dessiccation sous un confinement de trop faible épaisseur dans des conditions climatiques particulières) puis réparation de celle-ci. En effet, les GSB ont une capacité d'autocicatrisation : Comeaga (1997) montre qu'un défaut carré d'1 cm² avec perte de bentonite se referme en quinze jours sous une pression de 8 kPa.

La direction des flux hydriques

Pour les deux types d'étanchéité, nous pouvons aisément mettre en évidence des cycles saisonniers humidification/dessiccation, quelle que soit la profondeur (exemple en figure 12).

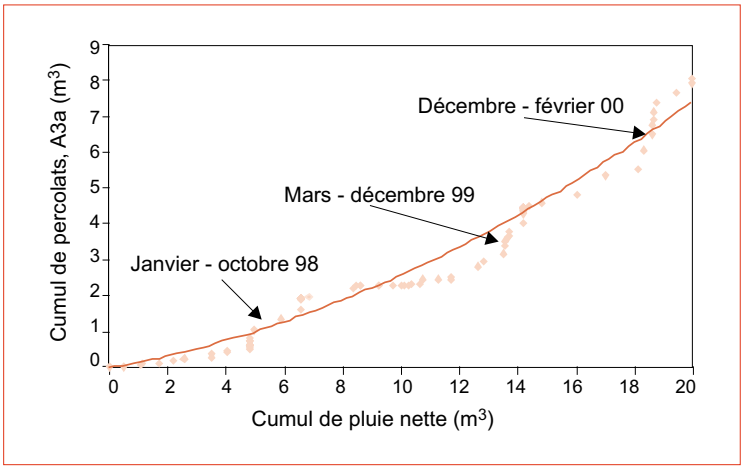


Figure 9. – Double cumul pluie nette et percolats, A3a

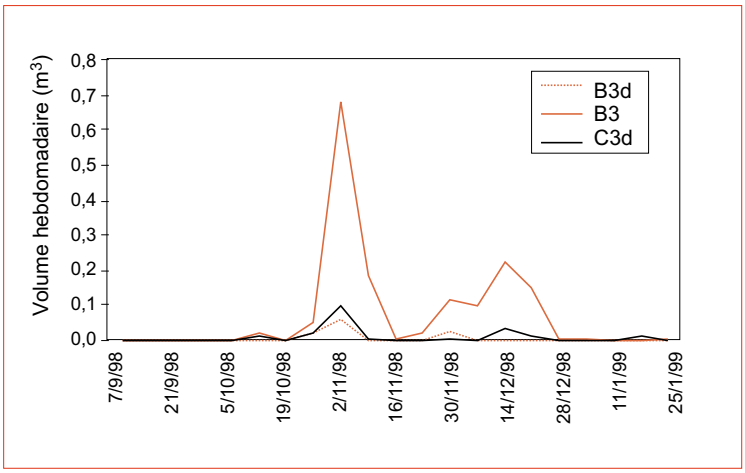


Figure 10. – Volumes d'eau collectés pour les lysimètres B3d, B3 et C3d.

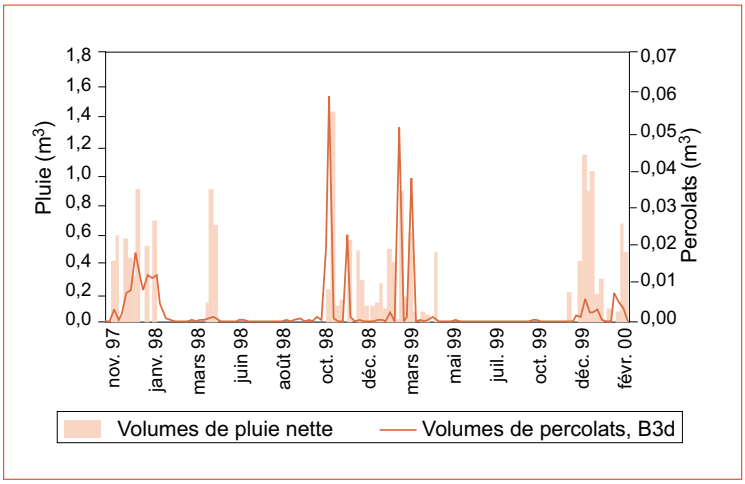
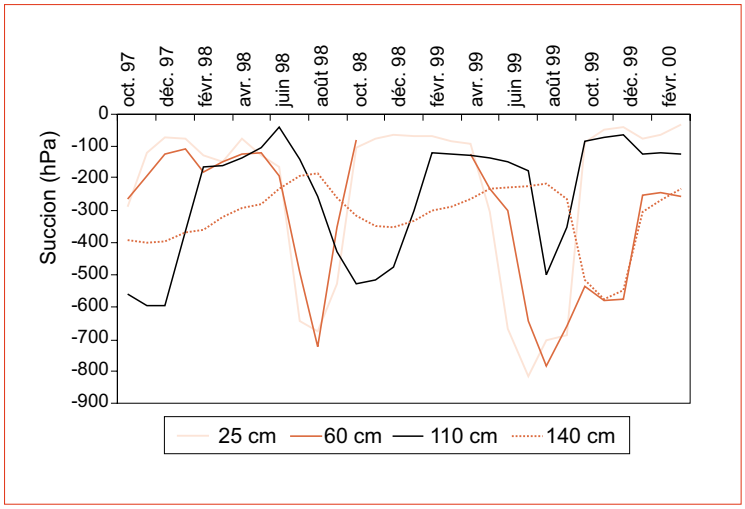


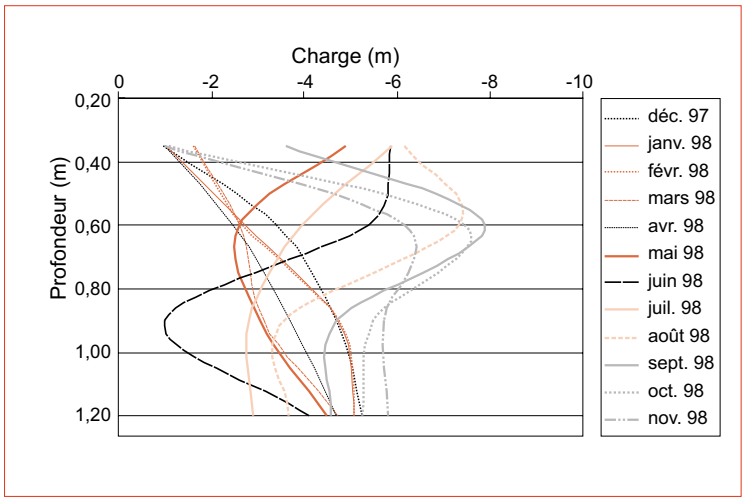
Figure 11. – Pluie nette et percolats, configuration B3d.

Concernant les couvertures argileuses, nous observons une atténuation du signal et un retard qui augmente avec la profondeur (un mois dans l'argile sous le géodrain à presque six mois près de la couche de forme). Ce phénomène est d'autant plus marqué que la pente est forte.

Ces résultats indiquent que les tensiomètres ne mesurent que la succion dans la matrice et non aux chemins préférentiels par lesquels circule l'eau. Ils nous renseignent sur le fonctionnement interne du matériau argileux mais non sur le comportement hydraulique de l'ensemble de la couverture.



▲ Figure 12. – Succion en fonction du temps, profil A3a.



▲ Figure 13. – Profil de charge en profondeur, casier A10.

Nous montrons cependant que la terre végétale et l'argile sous le géodrain atteignent des valeurs de succion correspondant à des phénomènes de dessiccation en été. Plus en profondeur, ce dessèchement est moins marqué.

Les valeurs de succion obtenues dans l'argile ont été transformées en charge hydraulique afin d'étudier la direction des écoulements dans les couvertures tout au long de l'année (figure 13).
Pour la terre végétale et l'argile sous le géodrain, nous observons d'août à avril des flux descendants, alors que la période de pluie efficace positive s'étend seulement d'octobre à avril. Ceci confirme que l'eau migre initialement par les fentes de dessiccation présentes dans la terre végétale et s'infiltre dans la matrice.
De mai à juillet, les flux entre ces deux niveaux sont ascendants. L'eau migre de manière capillaire en relation avec la dessiccation en surface.

En ce qui concerne la direction des flux au sein de l'argile, nous observons des mouvements gravitaires de décembre à mai. Cette infiltration est due à la pluie efficace positive en hiver, liée à un certain retard à l'infiltration observé sur les courbes de succion.
De juin à novembre, les flux descendants persistent en bas du profil (retard à l'infiltration en surface), mais les remontées capillaires touchent à présent le cœur de l'épaisseur d'argile, toujours en relation avec la dessiccation en surface.

Concernant les géosynthétiques bentonitiques, les mesures tensiométriques permettent de confirmer le rôle du géodrain dans la limitation de l'infiltration de l'eau dans l'étanchéité (figure 14) mais également de montrer son rôle de protecteur en limitant les phénomènes de dessiccation dans les matériaux sous-jacents (amplitude restreinte des cycles saisonniers).

Cependant, la présence d'un drainage sous la terre végétale peut entraîner une dessiccation plus rapide de la terre végétale dans des conditions climatiques défavorables (hausse de la température moyenne et baisse de l'humidité moyenne de l'air), ce qui a pour effet de déclencher des remontées capillaires d'eau au travers de l'étanchéité, pouvant conduire au dessèchement du GSB (figure 15).

Ce dessèchement semble être réversible (*cf.* figure 10) et le GSB à la capacité de s'autocicatriser si les défauts n'ont pas une ampleur trop importante.

Le comportement thermique

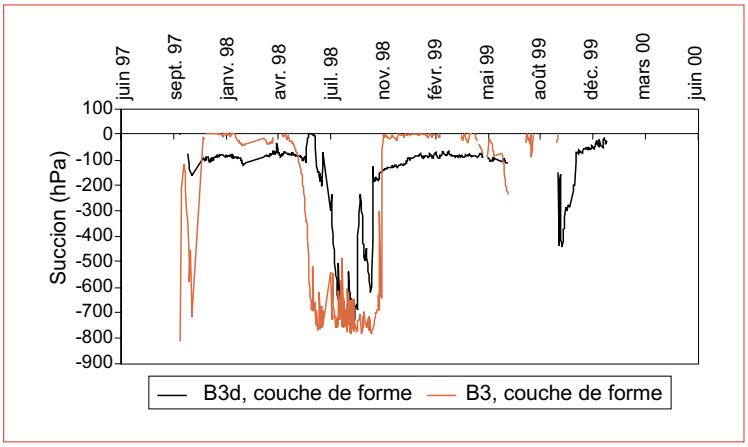
Les mesures de température dans les matériaux de couverture indiquent une absence de gel pour les configurations argileuses, quelle que soit la profondeur. Cependant, pour les configurations GSB non drainées, en présence d'un faible confinement (< 30 cm), nous observons une période de gel dans la terre végétale et la couche de forme lors d'un hiver plus rigoureux (figure 16). De plus, une différence de l'ordre de 4°C, en hiver et en été, entre les parties drainées et non drainées peut être observée.

Ceci met en évidence le caractère d'isolation thermique du géodrain et permet de montrer qu'en présence de drainage à l'interface terre végétale/étanchéité, les matériaux d'étanchéité ne sont pas soumis à des cycles gel/dégel (sur les trois hivers d'étude) qui pourraient les endommager. Enfin, ces résultats montrent la nécessité de respecter les épaisseurs recommandées (50 cm minimum) pour la couche de confinement au dessus des GSB, afin de se prémunir contre les aléas climatiques et de garantir leurs performances.

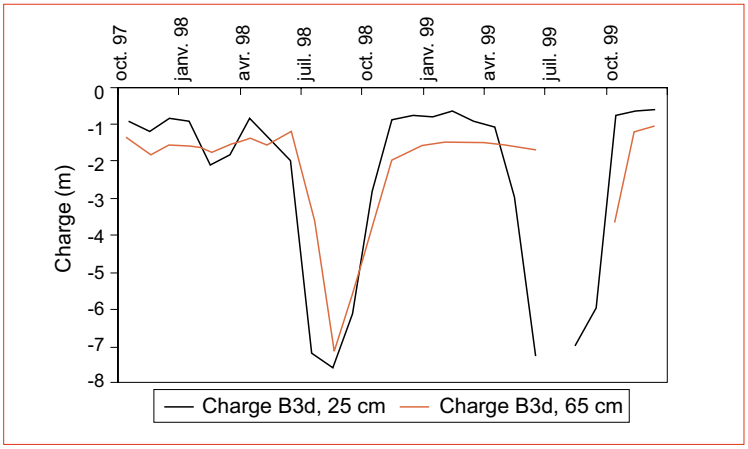
Le comportement mécanique

La plupart des tassomètres installés dans les déchets en 1995 sont en fonctionnement. Les résultats (figure 17) montrent que les tassements sont de l'ordre de 10 à 35 cm depuis le début de l'exploitation, en fonction de la distance au talus. Pour la période de post-exploitation, cela correspond à un tassement d'environ 7 %, deux ans après la réhabilitation, effectuée immédiatement après la fin de l'exploitation.

Sur le site, des tassements différentiels sont facilement repérables, particulièrement sur les pentes à 10 %, et confirmés par des relevés topographiques. Ces points bas sont des zones d'accumulation d'eau dans la terre végétale qui accroît significativement la charge hydraulique sur l'étanchéité et provoque une augmentation du débit de fuite. Dans ces conditions, du fait de leur faible épaisseur, les GSB sont pénalisés par rapport à l'argile. Cependant, ces points bas peuvent également être le siège d'apparition de fissures plus importantes et de connexion de chemins préférentiels entre eux pouvant également faire diminuer les performances de ce type de barrière.



▲ Figure 14. – Courbes de succion dans la couche de forme, casier G3.



▲ Figure 15. – Charge hydraulique de part et d'autre du GSB, configuration B3d.

Conclusion

L'expérimentation menée sur le site de Montreuil-sur-Barse permet de comparer l'argile et les géosynthétiques bentonitiques en couverture de centre de stockage.
Malgré la nature différente des écoulements d'eau dans l'argile et les GSB, nous pouvons assimiler les performances hydriques d'un complexe géodrain/GSB à celles d'une couverture géodrain/argile. Cependant, pour atteindre un tel résultat, des précautions strictes de mise en œuvre doivent être appliquées : vérification de l'approvisionnement en argile et compactage soigneux pour les matériaux naturels afin d'éviter l'hétérogénéité du

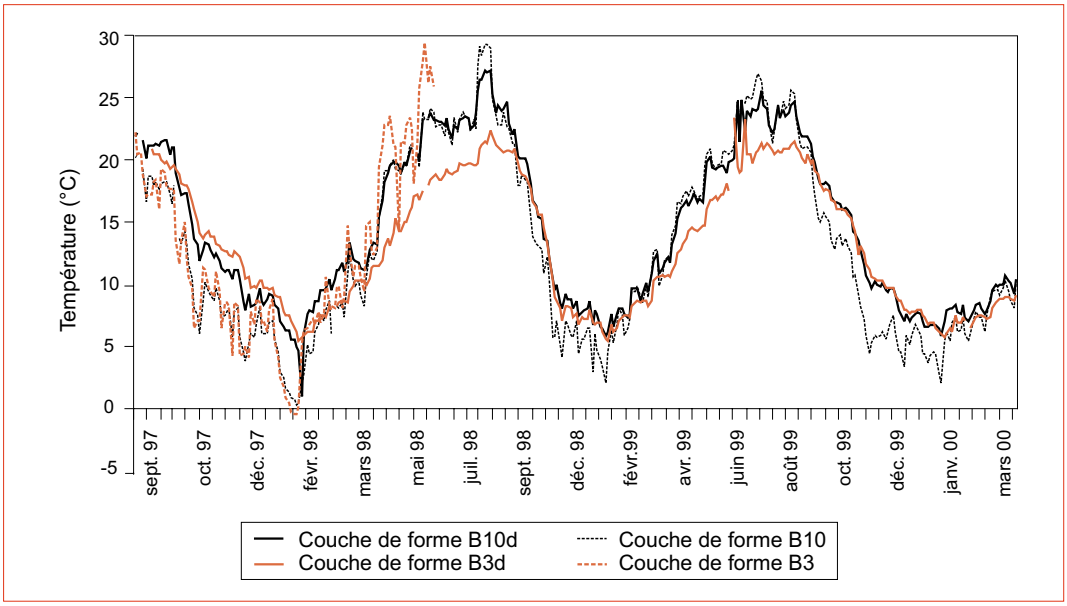


Figure 16. – Valeurs de température sous les GSB en fonction du temps.

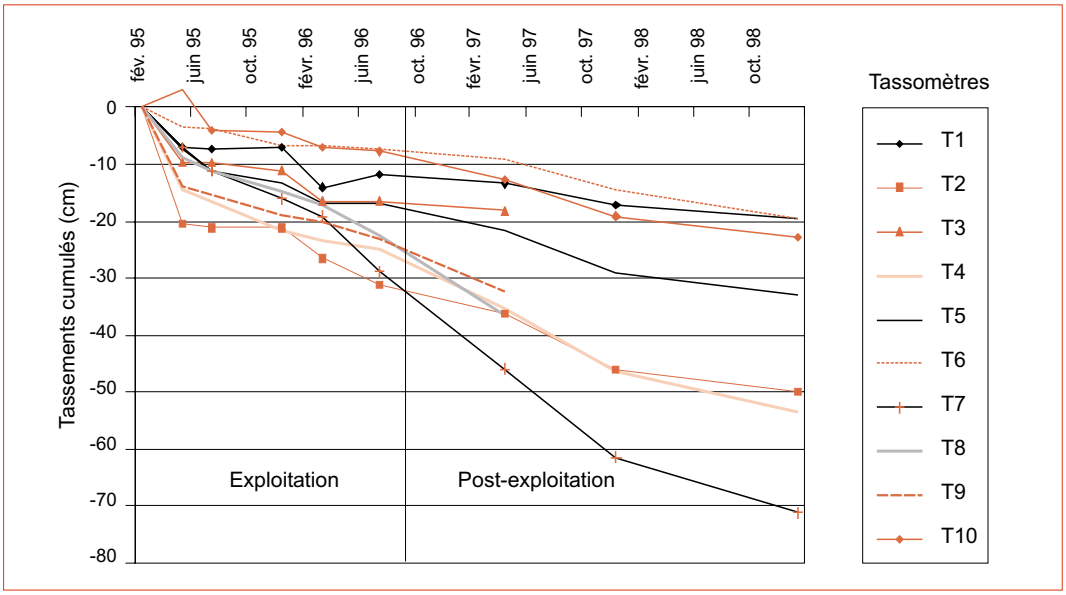


Figure 17. – Tassements.

matériau, conditions climatiques respectées, épaisseur de confinement de 50 cm minimum et soin attentif pour la pose des géosynthétiques bentonitiques (poseurs certifiés et contrôle qualité).
Dans notre expérience, pour toutes les configurations étudiées (bonne et mauvaise qualité de l'étanchéité ou du lysimètre), nous observons une percolation inférieure à 13 % de la pluie brute, centrée sur l'hiver, dès que la pluie nette est positive. Cependant, sur les configurations exemptes de défauts, de fortes variations sont mesurables :

– entre les zones de forte et faible conductivité hydraulique dans l'argile ;
– entre les zones drainées et non drainées sur les casiers GSB.

Du point de vue mécanique, des tassements différentiels sont observés particulièrement sur les

casiers de pente 10 %. Les points bas créés peuvent provoquer des fissurations dans la couche d'argile (non observées) et être le siège d'accumulation d'eau sur les GSB (augmentation de la charge hydraulique et du fuite).

Quel que soit le type de couverture choisi (argile ou GSB), il est donc nécessaire de respecter un certain temps de latence après l'exploitation avant de recouvrir les casiers pour un fonctionnement optimal de la barrière étanche.

Concernant l'équivalence entre les deux types d'étanchéité, nous pouvons résumer les conclusions apportées par notre expérimentation pour chaque type de structure dans le tableau 4.

De plus, si selon les critères de la réglementation, l'argile et les GSB peuvent être considérées comme globalement équivalents, nous pouvons tracer un axe des performances d'imperméabilité comparée de chaque configuration (figure 18), afin d'établir des relations d'équivalence plus fines.

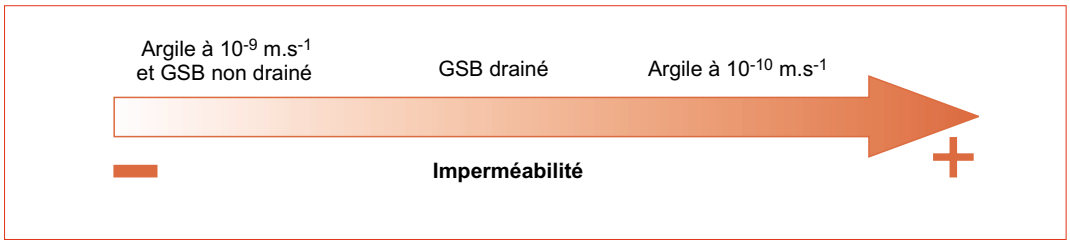
Enfin, il faut ajouter à la liste des critères de comparaison entre un géosynthétique et une argile en couverture de décharge, des notions de coûts. Il convient d'établir une étude économique, au cas par cas, en prenant en compte le coût de transport de l'argile le cas échéant. ❐

Remerciements

Nous remercions l'ADEME pour son support technique et financier et Onyx pour la mise à disposition des quatre casiers expérimentaux.

Argile	Géosynthétique bentonitique
• **Matériau hétérogène**, à compacter et éventuellement à mélanger ; • **Les performances hydrauliques diminuent avec le temps** (dessiccation et tassements différentiels) ; • L'influence du drainage n'a pas été testée ; • Les tassements différentiels peuvent créer une fissuration dans la couche d'argile et connecter/déconnecter des zones de forte perméabilité entre elles.	• **Difficultés de mise en œuvre** : ✗ Épaisseur de confinement à respecter ; ✗ Conditions climatiques favorables ; ✗ Poseurs certifiés + contrôle qualité ; • **Intérêt d'un drainage sous la terre végétale** : ✗ Limite le gel ; ✗ Limite la charge hydraulique sur l'étanchéité ; ✗ **MAIS** induit une dessiccation si l'épaisseur de confinement est trop faible ; • Capacité d'autocicatrisation ; • Les tassements différentiels induisent une augmentation de la charge hydraulique.

◀ Tableau 4. – Caractéristiques résumées des deux structures : argile et GSB.



◀ Figure 18. – Performances d'imperméabilité comparée des 3 configurations.

Résumé

Le centre de stockage de déchets de Montreuil-sur-Barse accueille quatre casiers expérimentaux pour lesquels dix configurations de couverture (mettant en œuvre de l'argile et des géosynthétiques bentonitiques (GSB)) ont été testées et comparées d'un point de vue hydrique, thermique et mécanique. Cet article compare les performances de ces différents types de couverture.

Abstract

Different capping systems are studied at an experimental MSW landfill, since 1997. Two types of covers, with clay and with geosynthetic clay liner (GCL) are instrumented in order to study hydrous, thermic and mechanical behaviours. This paper presents the information relatives to the comparison between GCL and clay liner performances.

Bibliographie

Arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux décharges existantes et aux nouvelles installations de stockage de déchets ménagers et assimilés, *Jounal officiel*, 2 octobre 1997.

BACCINI, P., HENSELER, G., FIGI, R., BELEVI, H., 1987. Water elements balances of municipal solid waste landfills. *Waste Management & Research*, 5, p. 483-499.

COMITÉ FRANÇAIS DE GÉOSYNTHÉTIQUES, 1998, *Recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques bentonitiques*, fascicule n° 12.

COMEAGA, L., 1997, *Dispositifs d'étanchéité par géosynthétiques bentonitiques dans les centres de stockage de déchets*, Thèse de Doctorat option génie civil, INSA Lyon, 297 p.

PANISSOD, C., POIGNARD, S., AIT SAADI, L., 2000, Electric and electrostatic surveys over waste landfills, *6ème congrès « Environmental and Engineering Geophysics, Bochum (Allemagne) », 3-7 sept. 2000* (en préparation).

POIGNARD, S., GUERBOIS, M., DIDIER, G., 1999, Assessment of Different Cover Systems at an Experimental Landfill : First Results, *Proceedings Sardinia 99, 7th Waste Management and Landfill Symposium*, T.H. Christensen, R. Cossu and R. Stegmann Eds., S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, p. 323-330.

POIGNARD, S., 2000, *Étude des comportements hydrauliques dans un sol non saturé hétérogène : application aux couvertures de décharge*, Thèse de l'université Paris-VI (en préparation).