

Complémentarité ou équivalence des matériaux naturels et synthétiques pour l'étanchéité des ouvrages de stockage de déchets ?

Stéphane Lambert

Pour les sites de stockage des déchets ménagers et assimilés, la réglementation française prévoit la possibilité de substituer certains matériaux d'étanchéité, sous réserve d'une démonstration d'équivalence garantissant un niveau de protection suffisant. Cet article rappelle les caractéristiques des principaux matériaux comme les géomembranes et les géosynthétiques bentonitiques (GSB), puis il aborde la problématique d'équivalence entre les matériaux. En s'appuyant sur des comparaisons et les connaissances scientifiques actuelles, l'auteur montre à quel point la prudence doit être de rigueur en matière de recherche d'équivalence.

La réglementation française relative au stockage des déchets, qu'ils soient ménagers ou industriels spéciaux (arrêtés du 09/09/1997 et du 18/12/1992), impose une étanchéité de fond d'ouvrage composée d'une barrière active et d'une barrière passive. Cette étanchéité composite a pour but de limiter les fuites de lixiviats vers l'aquifère pendant plusieurs décennies. Les matériaux assurant ces fonctions sont définis par les textes. Pour les déchets ménagers et assimilés, il est également possible de substituer certains de ces matériaux par d'autres si l'équivalence est démontrée.

La démonstration de l'équivalence nécessite une excellente connaissance des matériaux d'étanchéité tels qu'argiles, géomembranes ou géosynthétiques bentonitiques. Cette démonstration passe par une comparaison de leur comportement face aux sollicitations attendues en fond de l'ouvrage de stockage de déchets mais également de leur influence sur le fonctionnement global de la barrière. La solution de substitution doit avoir des performances équivalentes à celle préconisée par l'arrêté.

Après un rappel des exigences concernant les fonds de centre de stockage de déchets (CSD) ainsi que les sollicitations qu'y subissent les barrières d'étanchéité, les géomembranes, les géosynthétiques bentonitiques et l'argile, matériaux entrant dans la réalisation de ces barrières sont décrits en précisant leur comportement face aux sollicitations évoquées.

Cette présentation sert de base à la comparaison entre les matériaux présentée par la suite, conduisant à apporter des éléments de réponse à la question de l'équivalence ou de la complémentarité entre ces matériaux.

Pour répondre à cette question essentielle, cet article s'appuie sur des travaux de recherche menés dans plusieurs laboratoires et fait largement référence à différents documents techniques.

L'étanchéité des fonds de centre de stockage de déchets ménagers

L'arrêté du 09/09/1997 précise que la barrière passive est constituée d'une couche d'au moins 5 mètres d'épaisseur de matériau de conductivité hydraulique inférieure ou égale à 10^{-6} m.s⁻¹, surmontée d'une couche de 1 mètre d'épaisseur de matériau de conductivité hydraulique inférieure ou égale à 10^{-9} m.s⁻¹. La barrière active est constituée d'une géomembrane.

Cependant, les articles 11 et 14 de cet arrêté introduisent la possibilité de recourir à des « mesures compensatrices » pour la barrière passive ou à des « produits équivalents » aux géomembranes. La substitution peut notamment être pertinente lorsque les matériaux naturels disponibles sur ou à proximité du site ne sont pas suffisants, en quantité et en qualité, pour respecter les exigences de l'arrêté sans entraîner un important surcoût pour leur approvisionnement ou leur traitement.

Cet article complète les dossiers publiés dans les numéros 11 et 23 de la revue *Ingénieries*, ainsi que dans le numéro spécial « Géosynthétiques » de 1999. Le sujet présenté a également été publié dans la revue *TSM* n° 11 de novembre 2001.

Contact

Stéphane Lambert
Cemagref, Domaine
Universitaire, BP 76,
38402 Saint-Martin-
d'Hères Cedex

Quelle que soit la barrière concernée, la substitution doit être justifiée et s'appuyer sur une démonstration d'équivalence. Celle-ci, partant de la connaissance du comportement des matériaux face aux sollicitations attendues, doit démontrer que la barrière de substitution a la même aptitude à limiter les impacts potentiels du site de stockage sur l'aquifère.

On peut souligner que les transferts de lixiviat à travers l'étanchéité de fond de CSD se font selon deux modes de prépondérance variable, l'advection et la diffusion, qui sont respectivement régis par la conductivité hydraulique et le coefficient de diffusion.

Les sollicitations sur la barrière active (figure 1) sont d'ordre (i) mécanique par mise en traction sur les pentes ou en cas de tassements différentiels du sol support ou par poinçonnement par les granulats, (ii) physico-chimique par exposition aux lixiviats de nature et composition très variables, et (iii) thermique, du fait de la génération de chaleur par les déchets en décomposition.

Celles sur la barrière passive sont principalement d'ordre (i) physico-chimique du fait du transport de polluants à travers l'étanchéité active, par diffusion et surtout par advection en cas de perforation de cette dernière et (ii) thermique puisque le gradient thermique entre le massif de déchets et le sol peut favoriser la dessiccation de l'argile. La composante mécanique n'est pas cruciale dans le cas d'une couche d'argile d'épaisseur importante, dans la mesure où les couches inférieures sont stables.

Face à ces sollicitations, les matériaux d'étanchéité ont des comportements très différents. Par la suite, on s'intéressera principalement

aux matériaux préfabriqués (géomembranes et géosynthétiques bentonitiques) en ne rappelant que quelques points relatifs à l'argile.

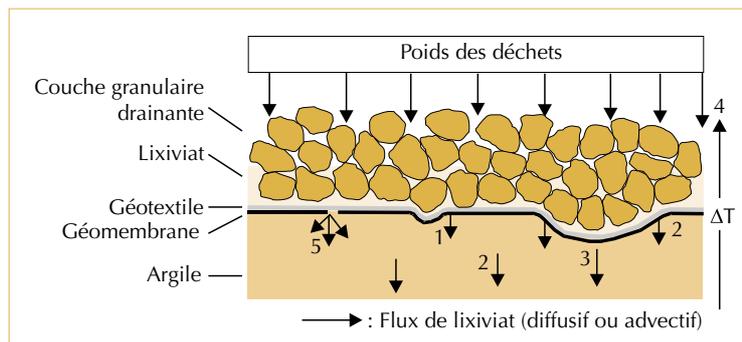
Les différents matériaux d'étanchéité

Les géomembranes

La définition normalisée des géomembranes (norme NF P84-500) exclut explicitement les produits d'épaisseur inférieure à 1 mm, les produits dont l'étanchéité est assurée uniquement par un matériau argileux et ceux laissant passer un flux d'eau supérieur à 0,1 l/m²/j sous une différence de pression hydraulique de 100 kPa. Dans la pratique, on s'aperçoit que cette limite est supérieure de 10 à 1 000 fois à ce qui passe effectivement à travers les géomembranes actuellement commercialisées.

Les géomembranes (Lambert, 1997) peuvent être fabriquées à partir de polymères tels que PEHD, PVC, PP ou EPDM ou à partir de liant bitumineux, auxquels on ajoute des adjuvants, additifs, plastifiants, antioxydants ou anti-UV... conférant au produit les caractéristiques nécessaires à une utilisation en génie civil.

La résistance physico-chimique des géomembranes a été l'objet de nombreuses études qui, sans être exhaustives, ont permis de définir leurs limites d'utilisation, confirmées par le retour d'expérience acquis sur de nombreux sites. Les comportements face à une sollicitation physico-chimique donnée dépendent d'abord de la nature du constituant de base, mais également des autres produits entrant dans la composition des géomembranes. L'exposition d'une géomembrane à un composé chimique peut avoir des effets réversibles ou irréversibles sur le polymère comme sur les adjuvants ou additifs. Selon le couple géomembrane/composé cette sensibilité peut conduire à une perte significative des propriétés de la géomembrane en modifiant sa perméabilité et/ou ses caractéristiques mécaniques. Parmi les principales réponses de la géomembrane à une exposition chimique, on peut citer le gonflement par absorption, avec ramollissement, la rigidification par perte de plastifiants ou par réticulation des chaînes de polymère et la fissuration sous contrainte. La sensibilité, et donc la vulnérabilité de la géomembrane, dépend du couple géomembrane-composé, de la concentration du composé, de la température...



▲ Figure 1 – représentation schématique des principales sollicitations sur l'étanchéité de fond de CSD : (1) poinçonnement, (2) exposition aux lixiviats, (3) tassement différentiel, (4) température élevée dans les déchets, (5) écoulements à travers un défaut dans la géomembrane.

Les géomembranes en PEHD sont les plus inertes chimiquement. Leur bon comportement après plusieurs années de service en fond de CSD ou de bassin de rétention de lixiviats a été observé sur un grand nombre de sites. Sur ces ouvrages, leur épaisseur est en général de 2 mm.

Les autres types de géomembranes sont très rarement utilisés en fond d'ouvrages de stockage de déchets ou de lixiviats. Ils présentent en général une sensibilité nette à certains composés. Leur emploi est généralement réservé aux couvertures de CSD.

Les géomembranes PEHD constituent une bonne barrière contre la diffusion des ions et des composés inorganiques et, dans une moindre mesure, à un grand nombre de composés organiques. Pour l'eau, le coefficient de diffusion est d'environ $10^{-15} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Pour les autres composés, le coefficient de diffusion est notamment fonction du composé et de sa concentration. Les coefficients de diffusion les plus élevés sont obtenus pour des composés tels que le trichloréthylène, le dichlorométhane ou le toluène (Rowe, 1997; Durin, 1999). Les géomembranes PEHD présentent en effet une certaine affinité avec ces composés, tel qu'illustré par le tableau 1. Cette affinité polymère/composé n'altère que très modérément la matrice polymère et n'a ainsi que peu d'incidence sur la durée de vie de la géomembrane. Cependant, les géomembranes PEHD sont sensibles au phénomène de fissuration sous contrainte. Ainsi, une géomembrane PEHD soumise à déformation dans un contexte physico-chimique particulier, notamment dans un milieu tensioactif, peut être détériorée par apparition de micro-fissures. Ce phénomène est le principal mécanisme de détérioration de ces géomembranes en CSD. Certains pays imposent que des dispositions soient prises pour limiter la déformation des géomembranes, par le fait

du poinçonnement en particulier, réduisant le risque d'occurrence de la fissuration sous contrainte.

Les géomembranes ne sont pas censées jouer un rôle mécanique. Cependant, pour résister aux sollicitations en traction et en poinçonnement, leurs propriétés mécaniques doivent être prises en considération. Le module sécant à 5 % de déformation en traction des géomembranes PEHD est d'environ 4 MPa. Leur résistance au poinçonnement statique est parmi les plus élevées des différents types de géomembranes. Cependant, dans le cas des CSD, et compte tenu des importantes sollicitations en poinçonnement, on a généralement recours à des géotextiles de caractéristiques mécaniques adaptées pour protéger la géomembrane. De plus, sur les pentes, des dispositions particulières permettent de reprendre les efforts de traction susceptibles d'être engendrés dans la géomembrane. La principale difficulté dans la mise en œuvre de géomembranes PEHD est la soudure des lés. En effet, la réalisation de soudures continues et résistantes suppose le respect de certaines règles et un savoir-faire certain (Lambert, 1997; Ademe, 1998). Malgré toutes les dispositions prises, le risque de défauts dans l'étanchéité par géomembrane est réel. En effet, des fuites peuvent apparaître par le fait de perforations ou de défauts de soudure (Touze-Foltz, à paraître). Ceci tient principalement aux conditions de chantier, lors de la construction de l'ouvrage, et aux sollicitations très sévères sur la géomembrane en service, souvent mal prises en compte à la conception.

Les géosynthétiques bentonitiques

À la fin des années quatre-vingt sont apparus, aux États-Unis, des « matelas bentonitiques » conçus pour renforcer l'étanchéité minérale de

	Gain massique (%)	Gonflement (%)	Coefficient de diffusion ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
Eau	0,5	1,9	$8,4 \cdot 10^{-15}$
Acide acétique	1,3	—	$2,4 \cdot 10^{-13}$
Acétone	1,0	2,0	$1,5 \cdot 10^{-12}$
Dichlorométhane	8,5	4,7	$3,5 \cdot 10^{-12}$
Toluène	8,7	6,6	$1,7 \cdot 10^{-11}$

▲ Tableau 1 – Gain massique, gonflement et coefficient de diffusion à l'équilibre de sorption pour une géomembrane PEHD, définis à partir d'essais d'immersion dans différentes solutions non diluées (d'après Durin, 1999).

différents types d'ouvrages, dont les ouvrages de stockage de déchets. Leur utilisation s'est répandue et la terminologie a évolué : depuis 1997 le terme géosynthétique bentonitique – GSB – est utilisé en France. Ces produits constituent, pour l'heure, la seule solution de substitution potentielle des barrières en fond de casier de stockage de déchets. Les GSB sont des produits manufacturés associant de l'argile à un ou plusieurs géosynthétiques. Un matériau argileux, de la bentonite sodique voire calcique, confère aux GSB leurs propriétés d'imperméabilisation tandis que les géosynthétiques, généralement deux géotextiles, leur confèrent tenue et résistance à la traction. Le plus souvent, la bentonite est enfermée entre deux géotextiles liés entre eux selon diverses techniques, pour constituer une nappe. La conductivité hydraulique des GSB varie de 10^{-12} à 10^{-10} m.s⁻¹ selon les produits, pour une épaisseur variant de 5 à 10 mm. Le débit d'eau à travers un GSB sous une différence de pression de 100 kPa est ainsi supérieur à 0,1 l/m²/j, limite imposée pour les géomembranes. La perméabilité aux gaz des GSB est également plus élevée que celle des géomembranes. La perméabilité des GSB dépend de la contrainte de confinement. Par conséquent, elle n'est pas intrinsèque au matériau. En effet, le GSB en sortie d'usine n'est pas imperméable et sa perméabilité fonctionnelle, i.e. sur site, dépend des conditions de mise en service et notamment de la qualité de l'eau d'hydratation, des modalités de recouvrement et de la contrainte de confinement appliquée. Les GSB présentent une sensibilité à différentes substances chimiques organiques et inorganiques. Les mécanismes conduisant à une augmentation de la perméabilité sont principalement les échanges ioniques, et plus précisément de cations, et la dissolution des minéraux. L'augmentation de perméabilité dépend du couple argile-substance, de la concentration en substance, et de l'état d'hydratation avant exposition. Dans un contexte de CSD, le mécanisme prépondérant est l'échange cationique. Ainsi, la bentonite sodique peut, en présence d'ions Ca²⁺, se transformer très rapidement en bentonite calcique, bien plus perméable. La conductivité hydraulique peut ainsi être augmentée d'un facteur allant jusqu'à 1 000 dans certaines conditions (Rowe, 1997). Les GSB sont ainsi très sensibles aux liquides chargés en cations Ca²⁺, Mg²⁺ et K⁺. L'exposition des GSB aux composés inorganiques est donc à éviter, sauf étude spécifique avec essais de compatibilité chimique du GSB. On notera que

la pré-hydratation à l'eau du GSB contribue à ralentir et limiter ces échanges, et donc à préserver les propriétés du GSB (Battali, 1997). La figure 2 illustre l'influence de la teneur en eau initiale du GSB sur ses propriétés hydrauliques au contact d'un lixiviat.

Par ailleurs, les GSB ne doivent pas être exposés aux UV, ni à des cycles gel/dégel et cycles hydratation/dessiccation. Dans les CSD, la dessiccation pourrait apparaître du fait des gradients de température entre déchets et sol, mais également du fait de variations diurnes de température tant qu'il n'y a pas eu recouvrement de la géomembrane installée sur le GSB. C'est avant recouvrement que les problèmes d'exposition aux agents climatiques peuvent être rencontrés.

Lorsqu'un GSB est soumis à un effort de traction, c'est sa seule partie géosynthétique qui est sollicitée. En revanche, lorsqu'il est soumis à un poinçonnement, l'argile est également sollicitée. Les GSB peuvent être sensibles au cisaillement interne, point critique sur les pentes. Les caractéristiques mécaniques dépendent dans ce cas du type de géosynthétique, du mode d'assemblage et également de l'argile utilisée et de sa teneur en eau.

Lorsqu'ils sont soumis à des poinçonnements importants, les GSB s'amincissent par fluage de l'argile, pouvant également causer la migration de cette dernière hors du GSB ; ce phénomène est critique lorsque le GSB est placé sur un sol support irrégulier, voire grossier.

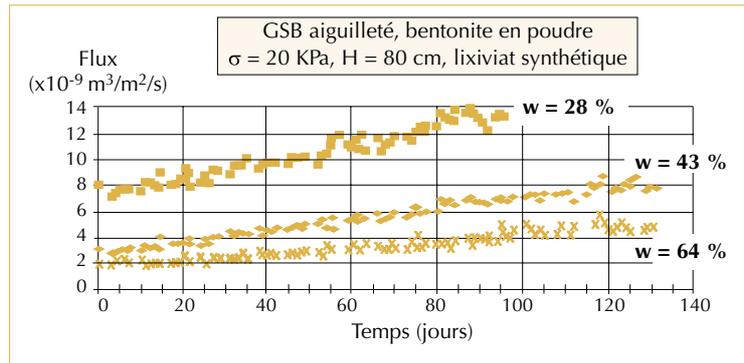
Ces particularités ne constituent pas un inconvénient rédhibitoire, mais elles doivent être prises en considération pour la conception de la structure d'étanchéité.

Les GSB présentent, de prime abord, une grande simplicité de mise en œuvre. On peut penser qu'il suffit de les dérouler et de mettre un peu de bentonite entre les lés pour assurer la continuité de l'étanchéité et qu'il n'y a ni technique spécifique, ni matériel particulier à utiliser. Mais, en fait, l'opération doit être menée en respectant des règles de base (Comité français des géosynthétiques, 1998) sous peine de dysfonctionnements graves (Colloque INSA-BRGM, 1998) : les GSB ne doivent pas rester exposés aux intempéries (UV, pluie) et, lors de leur installation, ils doivent être hydratés à l'eau claire et confinés dans un délai très court. Ces dispositions constructives peuvent générer de

fortes contraintes sur chantier. Dans la pratique et pour simplifier la mise en œuvre, on en vient à ne pas pré-hydrater le GSB, laissant à l'eau de pluie, à l'eau souterraine ou à d'autres fluides le soin de s'en charger, avec l'incertitude que cela induit sur la conductivité hydraulique obtenue, en fonction de la qualité du liquide hydratant. Cette pratique est à déconseiller.

L'argile

L'arrêt du 09/09/2001 est exigeant sur l'argile à utiliser en fond de CSD par les quantités et qualités requises. Outre les problèmes de disponibilité posés, différents points sont à considérer. L'argile doit être homogène et suffisamment compactée, pour des raisons hydrauliques et mécaniques. En effet, l'argile mise en œuvre sur de telles surfaces peut présenter des zones à conductivité hydraulique trop élevée ou ne pas être suffisamment portante et subir de forts tassements lorsque soumise au poids des déchets stockés. Le matériau « argile » présente les mêmes sensibilités que les géosynthétiques bentonitiques : risque de dessiccation entraînant un retrait donc la création de cheminements préférentiels, sensibilité aux cations et donc modification des propriétés hydrauliques et mécaniques. La stabilité sur pente doit également être prise en compte.



Équivalence ou complémentarité ?

Les éléments donnés précédemment, complétés par d'autres sources (Ademe 1998 et 1999), permettent d'aborder la comparaison entre les différents matériaux. Cette comparaison est présentée sous la forme d'un tableau (tableau 2). Ce tableau indique de manière simplifiée les comportements des différents matériaux exposés aux sollicitations attendues en fond de CSD, à la mise en œuvre et en service. Cette comparaison est donnée à titre indicatif, car elle ne tient pas compte des conditions de site. Elle concerne le matériau seul, dans un contexte moyennement sollicitant et ne tient pas compte de l'existence de techniques et dispositions simples permettant

▲ Figure 2 – Influence de la teneur en eau initiale du GSB (28, 43 et 64 %) sur le flux de lixiviat synthétique le traversant, sous une contrainte mécanique de 20 kPa et pour une charge hydraulique de 80 cm (d'après Battali, 1997).

	Géomembrane PEHD	Argile	GSB
Poinçonnement	3	1	2
Tassements différentiels du support	2	3	2
Dessiccation	1	3	3
Température (cycles ou gradient)	1	3	3
Perméabilité à l'eau	1	2	2
Exposition aux agents atmosphériques (UV, précipitations...) – à la mise en œuvre	1	3	3
Diffusion de composés organiques	2 à 3	1 à 2	1 à 2
Diffusion de composés inorganiques (sels)	1	2 à 3	2 à 3
Capacité d'adsorption chimique	3	1	2
Facilité de mise en œuvre	2	3	2

▲ Tableau 2 – Comparaison indicative du comportement des différents éléments d'étanchéité face aux sollicitations rencontrées en fond de CSD (1 : bon, 2 : moyen, 3 : mauvais).

d'améliorer ce comportement. Par exemple, un géotextile peut permettre d'atteindre un comportement moyen à bon pour la géomembrane exposée au poinçonnement. Ce tableau ne concerne pas les pentes, introduisant notamment des contraintes mécaniques, et pour lesquelles le comportement est généralement fortement dépendant du site et des différents matériaux constituant les barrières.

Cette comparaison met en évidence une complémentarité entre matériau naturel et matériau synthétique quant aux propriétés mécaniques et physico-chimiques. C'est l'intérêt de l'étanchéité composite définie par l'arrêté : les points forts de l'un compensent les points faibles de l'autre. L'arrêté s'appuie d'ailleurs, dans le principe, sur une complémentarité temporelle : l'étanchéité passive, l'argile, ne doit être sollicitée qu'après défaillance de la barrière active, la géomembrane. Dans les faits, l'existence avérée de défauts dans la géomembrane implique une sollicitation de l'argile dès la mise en service de l'ouvrage, dans la majorité des cas.

Cette complémentarité se retrouve entre géomembrane et GSB pour les mêmes raisons. La comparaison entre les géomembranes et les géosynthétiques bentonitiques montre clairement que, dans un contexte de fond de CSD, l'un ne peut pas remplacer l'autre. Cela tient notamment à leurs perméabilités respectives et surtout à leurs sensibilités chimiques.

La comparaison entre argile et GSB doit, dans le cas d'une utilisation en fond de CSD, s'appuyer non seulement sur des considérations hydrauliques, mais également sur des considérations mécaniques et chimiques.

Quelques études théoriques ont abordé l'équivalence hydraulique dans ce contexte (Guyonnet, 1998). Il en ressort qu'un GSB de 1 cm d'épaisseur et de conductivité hydraulique 10^{-11} m.s⁻¹ est hydrauliquement équivalent à la couche d'argile à 10^{-9} m.s⁻¹ de 1 mètre d'épaisseur de la barrière passive. À noter que, dans la pratique et à l'échelle de l'ouvrage, l'équivalence est plus difficile à obtenir ; c'est ce qui a été souligné par des travaux sur l'équivalence en couverture de CSD (Poignard, 2000).

Par contre, l'aspect mécanique n'a été que très peu abordé. Il est cependant raisonnable de penser qu'un GSB de 1 cm d'épaisseur sera plus sensible à des déformations, dues notamment

à des tassements différentiels, qu'une couche d'argile de 1 mètre d'épaisseur. Néanmoins, le risque de tassement induit par un GSB sur l'ouvrage est plus faible qu'avec une couche d'argile.

Enfin, l'aspect chimique est maintenant mieux connu. Ce point est essentiel dans la mesure où un lixiviat traversant un matériau argileux peut interagir avec celui-ci (Actes du séminaire Cemagref, 2000). L'argile ainsi que le lixiviat s'en trouvent modifiés : le lixiviat peut évoluer vers un liquide moins polluant mais, en contrepartie, l'argile devient plus perméable. Par rapport à cet aspect, qui renvoie à la capacité d'absorption et d'atténuation, une épaisseur de matériau plus importante semble être avantagée (Actes du séminaire Cemagref, 2000). En fond de CSD, le GSB semble ainsi présenter moins de garantie que la couche d'argile par rapport à la diffusion de polluants dans l'aquifère.

L'équivalence entre la couche d'argile et un GSB n'est donc pas acquise. La seule comparaison en termes hydrauliques est insuffisante. En l'état actuel des connaissances, il n'est pas conseillé de substituer la couche d'argile de 1 mètre et de conductivité hydraulique 10^{-9} m.s⁻¹ par un GSB. Par contre, le renforcement de la couche d'argile par un GSB semble être envisageable. On peut ainsi concevoir une sensible réduction de l'épaisseur d'argile compensée par un GSB (Actes du séminaire Cemagref, 2000). Mais ceci doit faire l'objet d'études spécifiques, au cas par cas.

Conclusion

Les substitutions de matériau d'étanchéité évoquées par l'arrêté du 9 septembre 1997 semblent donc difficilement envisageables, compte tenu des connaissances actuelles et des techniques disponibles. Il ne semble pas justifié de substituer les éléments des barrières active et passive par d'autres matériaux. En effet, il semble prématuré de vouloir démontrer une équivalence entre un géosynthétique bentonitique et la couche d'argile. Le GSB ne semble pas pouvoir valablement remplacer l'argile, mais il peut la renforcer. Par ailleurs, il est avéré que les géosynthétiques bentonitiques ne sont pas équivalents aux géomembranes, mais qu'ils leurs sont complémentaires pour l'étanchéité des fonds de centre de stockage de déchets. □

Résumé

La réglementation française relative au stockage des déchets ménagers définit les matériaux à mettre en œuvre pour assurer l'étanchéité des casiers de centres de stockage. Elle laisse également la possibilité de substituer ces éléments par d'autres, s'il est démontré que ceux-ci sont équivalents et apportent la même garantie quant au risque de pollution de l'aquifère.

Les différents matériaux d'étanchéité, et principalement les géomembranes et les géosynthétiques bentonitiques, sont présentés en soulignant leurs points forts et points faibles par rapport à l'utilisation en fond de casier. L'équivalence est ensuite abordée, s'appuyant sur divers travaux de recherche. Deux comparaisons sont faites : l'une entre la couche d'argile et les géosynthétiques bentonitiques et l'autre entre géomembrane et matériaux à base d'argile.

Il en ressort que l'équivalence n'est pas encore démontrée. Sur la base de considérations scientifiques, il semble au contraire que les matériaux constituant les barrières prévues par la réglementation ne puissent, pour l'heure, être substitués par d'autres matériaux.

Abstract

The French regulation concerning municipal waste storage defines materials to be used to insure watertightness of landfills. It also allows replacing these materials by others, providing these are shown to be equivalent and give the same security considering water resource pollution risks. Different waterproofing materials and mainly geomembranes and geosynthetic clay liners are presented together with their advantages and disadvantages when used at the bottom of landfills. Equivalency is then discussed, based on different research results. Two comparisons are made : the first between clay and geosynthetic clay liner, and the second between geomembrane and clayey barriers. It is shown that equivalency is not demonstrated yet. Indeed, it seems that at present, based on scientific evidences, materials composing barriers as defined by the regulation cannot be replaced by other materials.

Bibliographie

Arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux décharges existantes et aux nouvelles installations de stockage de déchets ménagers et assimilés. Journal Officiel de la République Française.

LAMBERT, S., 1997. Les géomembranes. *Ingénieries-EAT*, n° 11, p. 27-40.

ROWE, R.K., 1997. Geosynthetics and the minimization of contaminant migration through barrier systems beneath solid waste. *6th international conference on geosynthetics, Atlanta, USA, 1997*, p. 27-102.

DURIN, L., 1999, *Transfert d'eau et de contaminants organiques dans les structures d'étanchéité synthétiques et minérales des centres de stockage de déchets ménagers*, Thèse de doctorat, spécialité Géochimie, Orsay, Université de Paris-Sud UFR Scientifique d'Orsay, 290 p., Disponible au Cemagref.

ADEME, 1998, *Démarche qualité pour la mise en œuvre des géosynthétiques, Application aux centres de stockage de déchets*, Ademe, Paris, 87 p.

TOUZE-FOLTZ, N., à paraître, *Modélisation des transferts advectifs dans les étanchéités composites de centres de stockage de déchets*, Thèse de doctorat, spécialité Géologie de l'ingénieur, Paris, École des mines, 289 p.

BATTALI, L., 1997, *Dispositifs d'étanchéité par géosynthétiques bentonitiques dans les centres de stockage de déchets*, Thèse de doctorat, spécialité Génie civil, Lyon, INSA, 297 p.

COMITÉ FRANÇAIS DES GÉOSYNTHÉTIQUES, 1998, *Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géosynthétiques bentonitiques*, Fascicule n° 12, 56 p.

Géo-Bento – Étanchéité par géosynthétiques bentonitiques : état de l'art, actes du colloque organisé par INSA et BRGM Formation, Paris, 2-3 février 1998, 372 p.

ADEME, 1999, *Les installations de stockage de déchets ménagers et assimilés, Techniques et recommandations*, Ademe, Paris, 106 p.

GUYONNET, D., 1998, *Approche mathématique de l'impact des sites contaminés sur les eaux souterraines dans un contexte d'analyse de risque*, Thèse de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse.

POIGNARD, S., 2000. Comparaison *in situ* des performances d'une argile et de géosynthétiques bentonitiques en couverture de décharge. *Ingénieries-EAT*, n° 23, p.47-60.

La notion d'équivalence en étanchéité-drainage, 2000. *Actes du séminaire organisé par le Cemagref, Paris, Engref, le 22 mai 2000*, 94 p.