

Protection anti-poinçonnement des géomembranes en installation de stockage de déchets : une procédure d'étude

Arnaud Aufrère ^a, Carole Bloquet ^b, Arnaud Budka ^b, Didier Croissant ^a, Roland Gallo ^a,
Hugues Girard ^c et Fabien Lussac ^b

En fond des installations de stockage de déchets (ISD), les géomembranes sont soumises à des sollicitations de poinçonnement liées à la couche de drainage granulaire. Cette couche granulaire engendre, lors de sa mise en œuvre puis en service, des sollicitations de poinçonnement sur la géomembrane qui pourraient conduire à son endommagement, voire à sa perforation, l'empêchant ainsi de remplir sa fonction d'étanchéité. Pour éviter ce risque, un géotextile de protection est généralement mis en place au-dessus de la géomembrane. Mais à l'heure actuelle, il n'existe pas de méthode de dimensionnement reconnue de cet élément. En effet, les deux essais normalisés figurant sur les fiches techniques des géotextiles de protection, poinçonnement statique et dynamique, ne permettent pas directement la spécification du produit adapté aux sollicitations propres aux installations de stockage de déchets.

Les travaux présentés ici s'inscrivent dans le cadre d'un travail plus général dont l'objectif principal est l'établissement d'une démarche visant à spécifier les caractéristiques minimales que doit respecter le géotextile de protection pour éviter l'endommagement de la géomembrane, aussi bien sous les sollicitations de mise en œuvre à court terme que sous celles de service à plus long terme. Des résultats de l'étude relative aux sollicitations de mise en œuvre ont déjà été publiés (Budka *et al.*, 2006) et sont rappelés dans la deuxième partie

La mise au point d'une procédure d'étude des effets des sollicitations en service constitue le sujet principal traité dans cet article ; cette procédure s'appuie sur des essais d'endommagement quasi-statique de grandes dimensions. La démarche proposée consiste, dans un premier temps, à reconstituer tout ou partie du dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG) et à lui appliquer en laboratoire une contrainte statique pendant une longue durée (quatre jours), ceci à l'aide d'un bâti développé à cet effet. Le DEG comporte, de haut en bas :

- une couche de granulats 20/40 mm, roulés ou concassés, de 30 cm d'épaisseur ;
- un géotextile. Plusieurs géotextiles, de masses surfaciques et de caractéristiques mécaniques différentes ont été employés ;
- la géomembrane en polyéthylène haute densité (PEHD) ;
- un support rigide ou une couche de matériaux industriels simulant la couche argileuse placée en fond d'ISD. L'utilisation d'une couche de matériaux industriels plutôt qu'une couche argileuse permet une mise en œuvre plus facile du dispositif et une meilleure reproductibilité du support. Il est prévu d'utiliser plusieurs caoutchoucs de duretés différentes pour représenter des matériaux argileux de caractéristiques mécaniques différentes. Le choix des matériaux industriels est basé sur des comparaisons de leurs caractéristiques mécaniques avec celles d'argiles prélevés sur des sites d'ISD.

Les contacts

a. Cemagref, UR HBAN, Hydrologie et bioprocédés, Parc de Tourvoie, BP 44, 92163 Antony Cedex.

b. SITA France, 132 rue des Trois Fontanot, 92758 Nanterre.

c. Cemagref, UR REBX, Réseaux, épuration et qualité des eaux, 50 avenue de Verdun 33612 Cestas Cedex.

Dans un deuxième temps, après application de la sollicitation, l'état de la géomembrane est caractérisé visuellement et à l'aide d'essais de traction bi-axiale. Un critère de non-endommagement de la géomembrane est proposé ; ce critère permet de se prononcer sur l'efficacité en protection du géotextile utilisé.

Expérimentation *in situ* : réalisation de planches d'essai

Cette expérimentation *in situ* a fait l'objet de la publication de Budka *et al.* (2006) qui en détaille la réalisation et fournit les résultats. En résumé, il s'agissait de déterminer les caractéristiques mécaniques minimales des géotextiles nécessaires pour protéger la géomembrane des sollicitations de poinçonnement liées à la mise en œuvre. Des tests en conditions réelles ont été réalisés sur une zone d'expérimentation de 18 m x 30 m, constituée d'une géomembrane en PEHD posée sur une couche argileuse et couverte de différents échantillons de géotextiles puis d'une couche de 0,50 m de graviers roulés ou concassés. Un tombereau et une pelle hydraulique ont ensuite circulé sur cette planche afin de simuler une circulation des engins identique à celle d'un chantier réel. Ensuite, les dommages observés sur la géomembrane ont été relevés visuellement avant le prélèvement d'échantillons pour la réalisation de tests de caractérisation de ces endommagements en laboratoire.

La géomembrane utilisée était une géomembrane PEHD de 2 mm d'épaisseur. Onze géotextiles de protection (non tissés aiguilletés), de masses surfaciques comprises entre 480 g/m² et 1 200 g/m², classés en quatre catégories, ont été testés (figure 1). Il est important de noter que la masse

surfacique est donnée ici par commodité et uniquement à titre de première information : les caractéristiques techniques des différents géotextiles sont données dans les publications déjà citées.

Un protocole de caractérisation des endommagements subis par les échantillons a été mis au point. Ce protocole s'appuie essentiellement sur les résultats d'essais de traction bi-axiale ; il sera rappelé par la suite, car un protocole voisin a été appliqué à la caractérisation des échantillons soumis aux sollicitations d'endommagement statique en laboratoire simulant les sollicitations en service à long terme.

Mise au point de l'étude en laboratoire de l'endommagement statique sous les sollicitations de service

Principe et objectifs

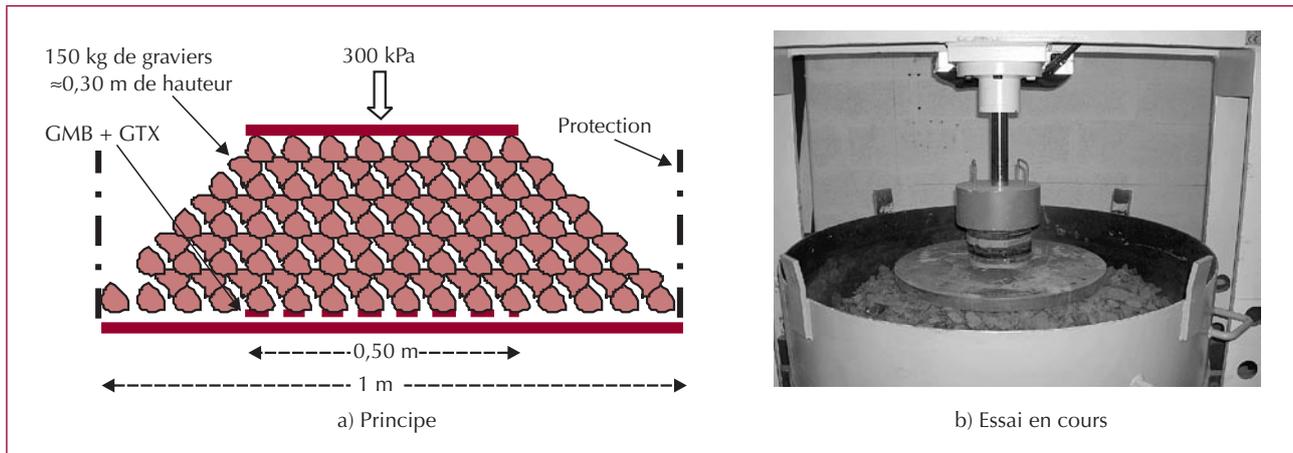
L'objectif de cette étude est d'étudier l'efficacité de différents géotextiles pour la protection d'une géomembrane dans des conditions de service, sous l'effet du poids des déchets ; un appareillage de grandes dimensions a été développé, au Cemagref d'Antony, pour simuler ces sollicitations en laboratoire (figure 2). Le complexe géosynthétique peut être placé sur un support rigide ou déformable et soumis à une charge statique équivalente à une hauteur de déchets de 30 m ; cette charge a été appliquée jusqu'à des durées de mille heures (quarante-deux jours).

Appareillage

L'appareillage nécessaire à ces essais, appelés essais d'endommagement statique, se compose d'une presse de 10 tonnes, d'un support en acier de 1 m de diamètre avec sa protection périphérique et d'une plaque en acier de diamètre 0,5 m destinée à uniformiser l'application de la contrainte mécanique. Environ 150 kg de granulats, roulés ou concassés, sont utilisés dans l'essai pour reconstituer la couche de drainage, sous lesquels se trouvent les échantillons de géomembrane et de géotextile d'un diamètre de 0,5 m. Les granulats sont disposés en « talus » sur une hauteur d'environ 0,3 m pour éviter les effets de bords qui pourraient perturber la contrainte verticale appliquée. L'essai est prévu pour être réalisé avec un support souple ou un support rigide.

► Figure 1 – Vue d'ensemble des planches d'essai de mise en œuvre – Mise en place des granulats concassés sur la partie droite.





Procédure d'endommagement

La mise au point de l'appareillage et de la procédure d'endommagement (ou de chargement) s'est appuyée, notamment pour fixer la durée d'application des charges, sur l'annexe B de la norme NF EN 13719 (août 2003) relative à la « Détermination de l'efficacité de protection à long terme des géotextiles » et sur les travaux de Reddy et Saichek (1998), travaux proches de ceux de notre étude. Nous avons effectué des chargements de mille heures et de cent heures, sur support rigide (plaque en acier) ; à partir des observations faites sur ces premiers chargements, des indications de la norme et des travaux de Reddy et Saichek, une durée de cent heures a été jugée suffisante pour obtenir une simulation significative des sollicitations de service. Il n'a pas été placé de paroi rigide au contact des graviers afin d'éliminer les effets de bord.

Supports utilisés

Le support rigide est constitué par une plaque métallique de 0,5 m de diamètre et de 30 mm d'épaisseur recevant le complexe géomembrane-géotextile. L'utilisation d'un support rigide vise à se rapprocher des essais de poinçonnement réalisés dans ces conditions, mais il est bien évident que ce support, s'il peut constituer une référence, ne représente pas les supports réels, argileux, déformables.

Pour examiner l'influence de la déformabilité du support, une solution aurait pu être d'utiliser des sols réels, mais compte tenu des dimensions importantes de l'appareillage, il aurait été difficile d'assurer l'homogénéité de la couche support en argile et de conserver un temps de prépara-

tion de l'essai acceptable. Il a donc été décidé de simuler différents types de support argileux par des matériaux industriels qui présentent les avantages suivants :

- diminution du temps de préparation ;
- meilleure reproductibilité de l'essai en conservant des caractéristiques de support constantes et en évitant ainsi une dispersion dans les caractéristiques du support ;
- comparaison plus facile des résultats des différents essais, par la suppression d'un paramètre relatif aux caractéristiques du support.

La recherche de supports souples en matériaux industriels représentatifs a constitué une phase importante de notre étude.

Recherche et définition de supports souples

Exemples de caractéristiques d'argiles utilisées sur des centres de stockage de déchets (CSD)

À partir des caractéristiques de cinq argiles utilisées dans des ISD, trois argiles ont été retenues et prélevées sur trois sites. L'objectif était de sélectionner des matériaux supports industriels susceptibles de représenter les trois argiles retenues, à partir d'essais de poinçonnement simples décrits dans la partie « Objectifs – Principe ».

Ces argiles sont caractérisées à partir de leurs valeurs optimales de teneur en eau et de masse volumique déterminées à l'essai de compactage Proctor normal indiquées dans le tableau 1.

▲ Figure 2 – Simulation en laboratoire de l'endommagement statique.

Référence de l'argile	Teneur en eau OPN ¹ (%)	Masse volumique OPN (t/m ³)
1	17,1	1,73
2	23,0	1,62
3	32,3	1,39

▲ Tableau 1 – Caractéristiques d'argiles utilisées dans des ISD.

1. Optimum Proctor normal.

2. L'essai CBR (*California Bearing Ratiotest*) est un essai de portance pour juger l'aptitude des matériaux à supporter les charges).

Comparaison des argiles avec différents matériaux supports industriels

OBJECTIFS – PRINCIPE

L'objectif de ces essais est double. Le premier objectif est de caractériser le comportement mécanique des matériaux industriels examinés et de le comparer à celui d'argiles employées en installation de stockage de déchets. Le deuxième objectif est ensuite de faire correspondre à une argile donnée, un caoutchouc de caractéristiques définies, ceci pour l'application à un site réel.

Pour cela, les essais proposés consistent à comparer le comportement au poinçonnement de différentes argiles et matériaux industriels dans le but de déterminer des correspondances entre ces deux types de matériau. Ces essais s'inspirent de la norme NF P 84-507 (AFNOR, 1996 – *Détermination de la résistance au poinçonnement statique des géomembranes et des dispositifs d'étanchéité par géomembranes*). Le poinçon employé est un poinçon cylindrique de 8 mm de diamètre, sa forme et sa dimension ayant été jugées représentatives de l'action de poinçonnement des

granulats utilisés en couche drainante en fond d'ISD (20/40 mm). L'essai consiste à enfoncer le poinçon à vitesse constante et à mesurer la force correspondante. A noter que cet essai est utilisé dans le cadre de la certification ASQUAL (Biguet, 2009) des géomembranes.

SUPPORTS INDUSTRIELS TESTÉS

Dix matériaux industriels, essentiellement des caoutchoucs, caractérisés par leur dureté *Shore* fournie ou mesurée, ont été testés. Le tableau 2 synthétise l'ensemble des matériaux soumis aux essais de poinçonnement.

ESSAIS PRÉLIMINAIRES

Des essais préliminaires ont été réalisés sur un caoutchouc et une argile de manière à fixer les paramètres de l'essai, qui sont la vitesse d'enfoncement du poinçon et l'épaisseur de la couche d'argile, celle des supports industriels ayant été fixée au préalable à 25 mm (épaisseur adoptée dans la norme NF EN 13719 AFNOR, 2003).

Dix essais ont été effectués sur l'argile 1, avec deux épaisseurs différentes (25 et 60 mm) et deux vitesses d'enfoncement du poinçon (1 et 10 mm/min). Les écarts constatés pour les éprouvettes testées dans ces conditions ont été faibles et peuvent être attribués à l'hétérogénéité de l'argile.

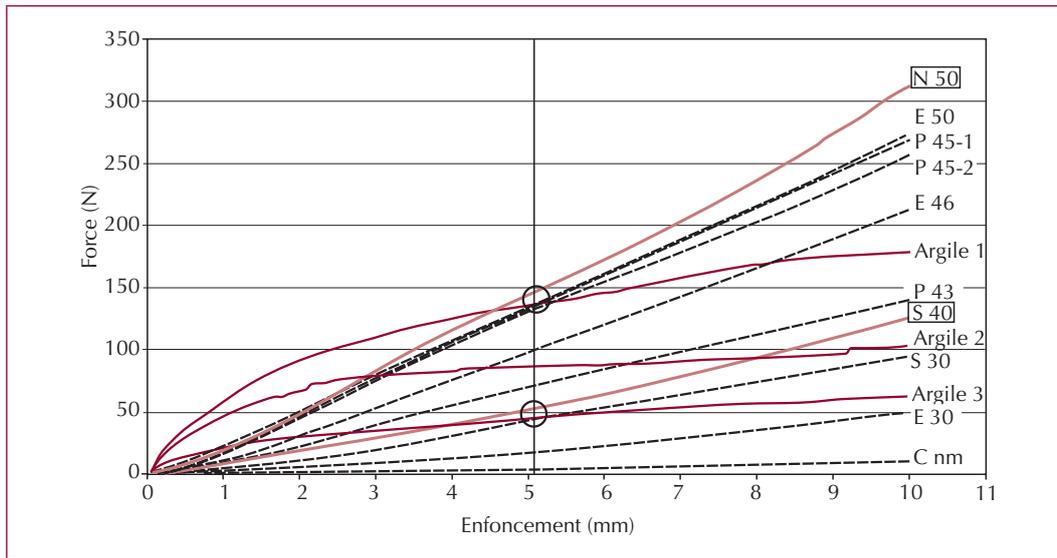
En ce qui concerne les cinq essais préliminaires réalisés sur support synthétique, ils ont seulement concerné l'échantillon N 50 et deux vitesses d'enfoncement du poinçon : 1 et 10 mm/min. Le choix du N 50 (dureté Shore A de 50) pour les essais préliminaires s'est appuyé sur une approche bibliographique (Seeger et Muller, 1996) et sur le fait que ce matériau est utilisé comme support pour l'essai de « Détermination de l'efficacité de protection à long terme des géotextiles en contact avec les barrières géosynthétiques » (norme NF EN 13719 - AFNOR, 2003). Ces essais ont montré une bonne reproductibilité pour des paramètres identiques et une influence faible de la vitesse d'enfoncement du poinçon.

De l'examen des résultats obtenus lors de ces essais préliminaires, il ressort que l'influence de la vitesse d'enfoncement du poinçon reste limitée, tout comme celle de l'épaisseur de la couche de sol pour les essais concernant l'argile. Pour la suite des essais, on a donc fixé une vitesse d'enfoncement du poinçon de 1 mm/min (cette vitesse se rapprochant de celle de l'essai CBR² pour les sols qui est de 1,27 mm/min) et une épaisseur de l'éprouvette d'argile de 25 mm.

▼ Tableau 2 – Matériaux industriels testés.

Référence utilisée dans l'étude	Dureté Shore (valeur informative fournie ou mesurée)
E 50	50 Sh
N 50	50 Sh
E 30	30 Sh
S 40	40 Sh
S 30	30 Sh
E 46	46 Sh
P 45-1	40-45 Sh
P 45-2	40-45 Sh
P 43	43 Sh
C nm	-

(- : caractéristique non mesurable pour ce matériau trop déformable).



◀ Figure 3 – Courbes de résistance au poinçonnement obtenues pour les argiles et les matériaux supports industriels testés.

Résultats des essais de poinçonnement comparatifs argiles/matériaux industriels

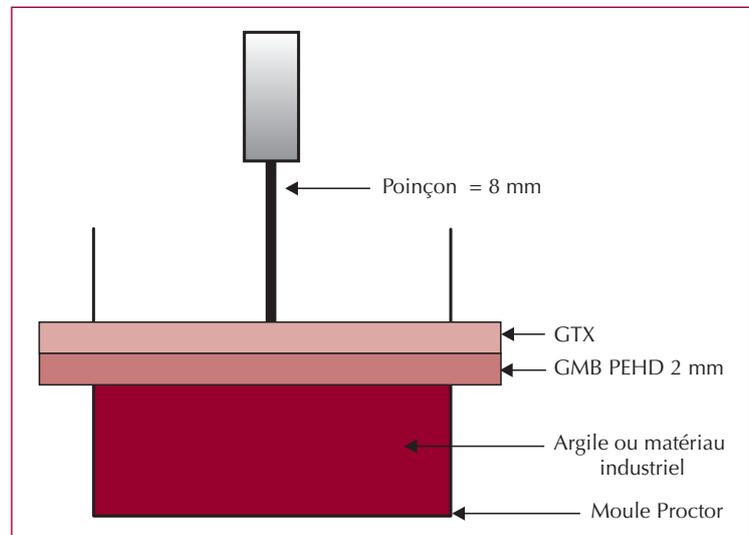
La figure 3 synthétise sous forme de courbes « force/enfoncement » les résultats des essais de poinçonnement réalisés avec le poinçon cylindrique de 8 mm de diamètre pour les trois argiles et les dix matériaux supports. Les courbes présentées sont des courbes moyennes, en général, de trois enfoncements. On constate que l'essai de poinçonnement permet de distinguer clairement les trois argiles d'une part et les matériaux industriels d'autre part. Par contre, il apparaît que les matériaux argileux d'une part et industriels d'autre part ont des comportements différents (courbes à croissance rapide puis palier pour les argiles et courbes quasi linéaires pour les matériaux industriels).

Dans ces conditions et en l'état d'avancement actuel de nos essais, nous avons choisi d'adopter les résultats à 5 mm d'enfoncement et de considérer que le N 50 représente l'argile 1 et le S 40, l'argile 3 ; le E 46 ou un matériau voisin pourrait représenter l'argile 2. On peut considérer que cette exploitation des essais est similaire à celle de l'essai de poinçonnement CBR usuellement utilisé pour caractériser la portance des sols. Cette exploitation, non complètement satisfaisante, est considérée comme une première approche. Aussi, des essais complémentaires, plus proches des sollicitations réelles, vont être mis en œuvre ; ils sont décrits dans la partie suivante.

Proposition d'amélioration des essais de poinçonnement comparatifs argiles/supports industriels

L'objectif de cette proposition d'amélioration est de se rapprocher des conditions réelles de poinçonnement tout en conservant un essai facile à réaliser pour comparer les supports argileux et les supports industriels. La figure 4 donne le principe de l'essai modifié envisagé. Cette proposition s'appuie sur l'observation de l'enfoncement du poinçon pour les essais réalisés à ce jour avec application du poinçon directement sur le support : le poinçon s'enfonce dans le support

▼ Figure 4 – Schéma du nouvel essai de poinçonnement proposé.



sans engendrer de déformation significative de la surface à son pourtour. C'est pourquoi nous prévoyons de réaliser des essais en intercalant la géomembrane et un géotextile entre le poinçon et le support afin d'obtenir un poinçonnement moins localisé ; cette approche devrait conduire à des résultats plus significatifs.

Enseignements tirés des essais d'endommagement statiques réalisés pour leur interprétation

Essais réalisés

À ce jour, une trentaine d'essais d'endommagement statique ont été réalisés soit sur support rigide (plaque d'acier) soit sur le support souple le plus dur (N 50). Les résultats obtenus à ce jour ne sont pas donnés dans cet article, car d'une part, ils sont en cours d'exploitation et d'autre part, leur publication nécessite d'avoir l'ensemble des résultats. Ces résultats seront publiés à l'achèvement de l'étude, après la réalisation des essais au minimum sur le support souple le moins dur des trois supports retenus (S 40), et si nécessaire sur le support souple intermédiaire.

Néanmoins et dans l'attente de l'ensemble des résultats, nous avons jugé intéressant de présenter les protocoles de réalisation des essais d'endommagement statique et de leur exploitation. En effet, ces protocoles s'appuient sur l'expérience des essais réalisés à ce jour et peuvent être utilisés pour l'étude d'un site donné.

Procédure de déroulement d'un essai d'endommagement statique

La réalisation d'un essai comprend différentes étapes. Il s'agit :

- de tamiser en premier lieu les granulats, qui peuvent être réutilisés d'un essai à l'autre, afin de s'assurer de la bonne fraction granulométrique du matériau, à cause des éclatements qui peuvent survenir pendant les essais et aboutir à la création d'éléments plus petits ;

- de découper et mettre en place la géomembrane et le géotextile de protection sur le support choisi ;

- de mettre en place les granulats (environ 150 kg) ;

- d'appliquer le chargement de 300 kPa pendant une durée de cent heures (quatre jours) ;

- de démonter l'essai afin de récupérer les éprouvettes de géosynthétiques ;

- de procéder à la caractérisation de l'endommagement de la géomembrane à la fois visuellement et à l'aide de l'essai de traction bi-axiale, selon un protocole voisin de celui adopté pour les planches d'essais.

Exploitation des essais d'endommagement statique

OBSERVATION VISUELLE

Pour l'observation visuelle, afin de nommer les dommages constatés sur les échantillons récupérés, les définitions du guide pour la réalisation et l'exploitation de planches d'essais sur DEG (CFG³, 2001) ont été utilisées. Les cinq types de dommages référencés dans le guide du CFG ont été observés sur les échantillons de géomembrane soumis à l'endommagement statique :

- « éraflure » : rayure de surface ;

- « entaille » : rayure en profondeur, sans perçement ;

- « indentation » : poinçonnement ponctuel rémanent et sans perforation, avec réduction d'épaisseur importante, correspondant généralement à l'empreinte d'un granulat. Pour ces planches, ont été distinguées des « indentations vers le haut », dues aux cailloux présents dans le support, et des « indentations vers le bas », dues aux graviers de la couche drainante ;

- « déformation » : déformation de la géomembrane du fait du tassement du sol support ou de la prééminence d'un élément grossier, sans réduction notable de l'épaisseur, rémanente ou non (figure 5) ;

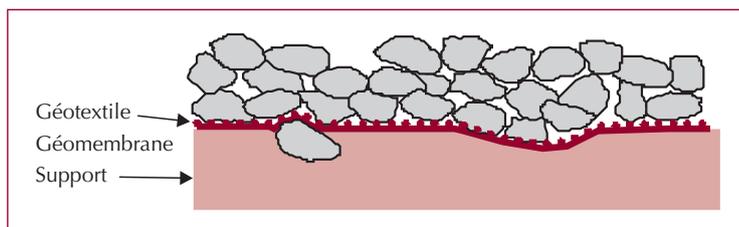
- « perçement » : trou ou déchirure.

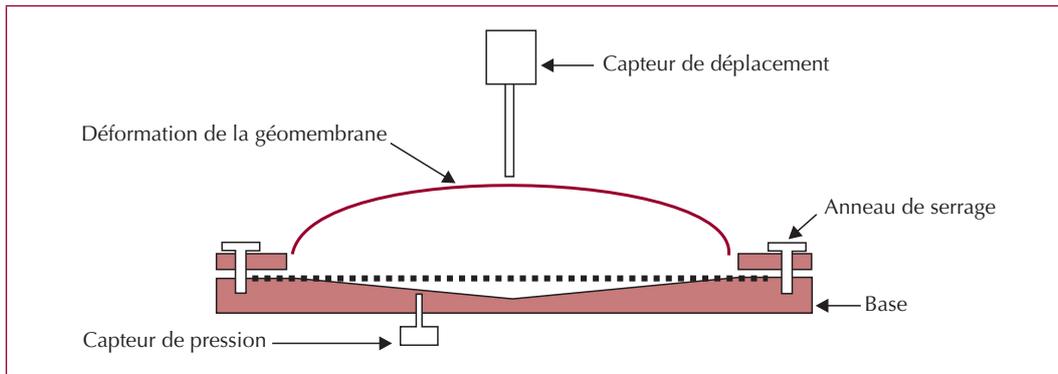
L'observation visuelle s'est déroulée comme suit, dans le cas d'une géomembrane en PEHD :

- examen visuel approfondi de l'ensemble de la surface de la géomembrane pour chaque éprouvette soumise à un essai ;

3. Comité français des géosynthétiques.

▼ Figure 5 – Représentation schématique d'endommagements de type « déformation » (CFG, 2001).





◀ Figure 6 – Schéma de principe de l'essai de traction bi-axiale.

– classification des dommages suivant la nomenclature adoptée et dénombrement des dommages de chaque type pour chaque éprouvette ;

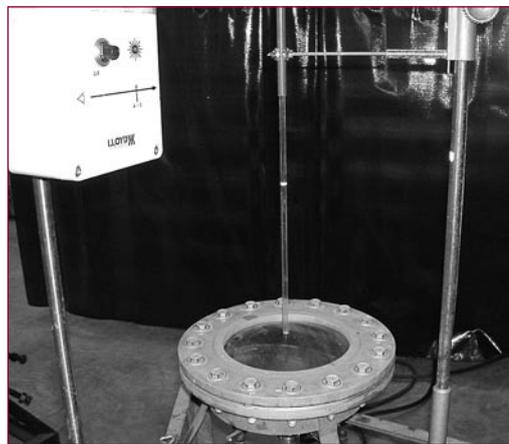
– classement des observations visuelles, faites par deux opérateurs, en répartissant, pour chacun des types, les dommages en trois catégories selon leur importance (A = dommages mineurs, B et C = dommages non acceptables).

ESSAIS DE TRACTION BI-AXIALE – ÉTALONNAGE DE L'EXAMEN VISUEL

Cet essai, parfois appelé essai d'éclatométrie (XP P 84-503 - AFNOR, 2008), consiste à appliquer une pression sous une éprouvette de géomembrane de forme circulaire (figures 6 et 7). Cette pression déforme la géomembrane et crée, au centre de la déformée, une contrainte isotrope dans le plan tangent de la géomembrane. Lors de l'essai, on mesure la déflexion du centre de l'éprouvette et la pression sous la géomembrane. Ces deux mesures permettent de calculer les valeurs de déformation et de contrainte, en se basant notamment sur des hypothèses simplificatrices suivantes : déformation sphérique et uniforme dans le sens méridien de la géomembrane durant tout l'essai, homogénéité et incompressibilité de la géomembrane et champ de contrainte constant dans l'épaisseur de la géomembrane.

L'appareillage utilisé au laboratoire d'essais géosynthétiques à Antony a un diamètre utile des éprouvettes de 0,20 m. Les essais peuvent être réalisés à gradient de pression constant ou à vitesse de déformation constante. L'asservissement de l'essai est assuré par un logiciel pour le contrôle de la pression de consigne.

La figure 8 donne un exemple de résultats obtenus à l'essai de traction bi-axiale. On peut observer, figure 8-a, le dommage soumis à l'es-

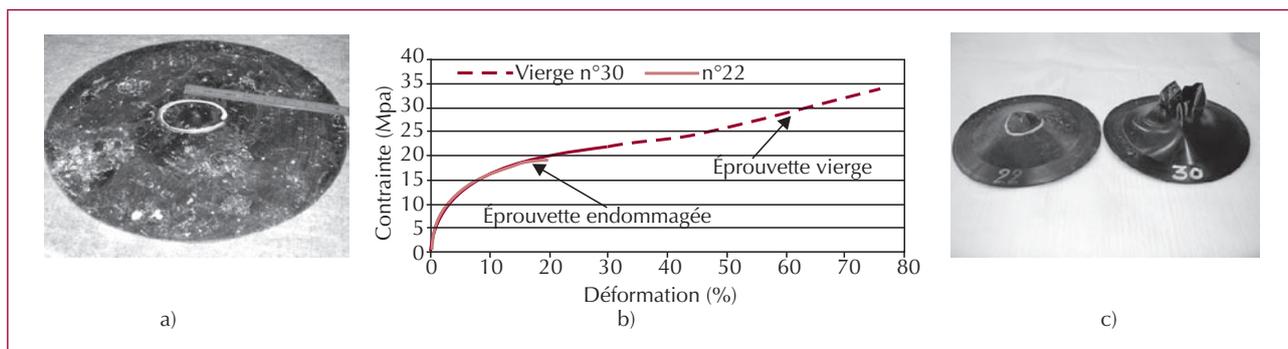


◀ Figure 7 – Appareillage utilisé pour les essais de traction bi-axiale.

sai ; figure 8-b, les courbes « contrainte-déformation » pour l'éprouvette endommagée et une éprouvette vierge ; et figure 8-c, les éprouvettes correspondantes après rupture (éprouvette vierge numérotée 30).

Pour chaque éprouvette soumise à l'essai d'endommagement ($\phi = 0,5$ m), il a été prélevé une éprouvette pour l'essai de traction bi-axiale ($\phi = 0,3$ m, $\phi_{\text{utile}} = 0,2$ m). En général, le dommage jugé le plus important a été placé au centre de l'éprouvette.

La caractéristique retenue pour l'exploitation de l'essai de traction bi-axiale est la déformation à la rupture, car elle permet la meilleure différenciation des effets des dommages testés. Le calcul de cette caractéristique a été fait suivant la relation donnée par Lambert et Duquennois (2001). L'objectif est de définir un critère permettant de juger de l'efficacité des géotextiles testés à protéger la géomembrane vis-à-vis des sollicitations et des conditions de mise en œuvre de la présente expérimentation. Nous proposons de considérer que la



▲ Figure 8 – Exemple de résultats à l'essai de traction bi-axiale (diamètre = 200 mm).

géomembrane a été efficacement protégée lors de la mise en œuvre de la couche drainante si elle n'a pas subi d'endommagement notable, c'est-à-dire si elle ne présente pas de dommage entraînant une chute supérieure à 25 % de ses caractéristiques mécaniques mesurées à l'essai de traction bi-axiale ($\phi = 0,2$ m). Ce critère a été notamment retenu à partir de la norme NF EN 13493 intitulée « Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des ouvrages de stockage et d'enfouissement de déchets solides » relative aux géomembranes, dans laquelle il est précisé qu'en terme de durabilité, le niveau d'acceptabilité correspond à une modification n'excédant pas 25 % par rapport aux valeurs initiales de la résistance et de la déformation à rupture en traction du matériau (AFNOR, 2006).

Sur cette base, il a été procédé à un étalonnage de l'examen visuel au moyen des résultats des essais de traction bi-axiale. À partir de cet étalonnage et de l'examen visuel, l'état de la géomembrane a été apprécié pour chaque éprouvette soumise

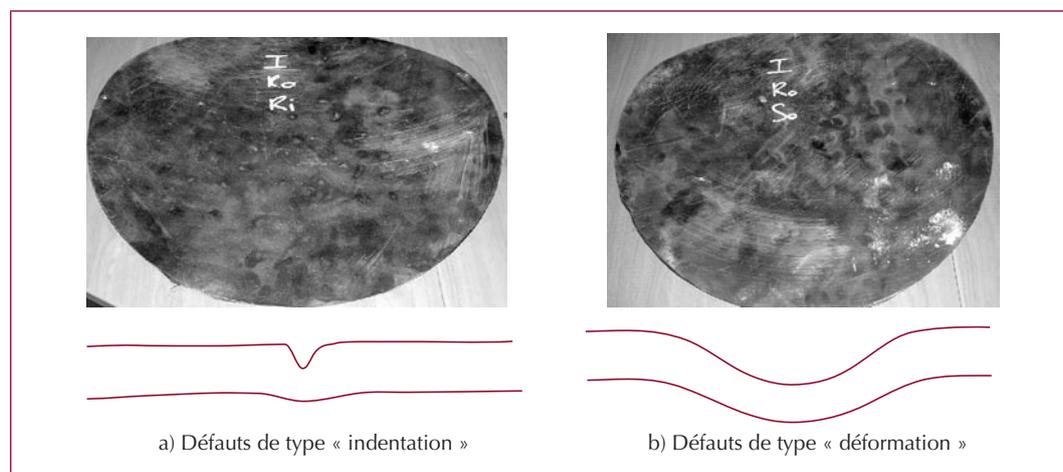
à l'essai d'endommagement statique à partir du nombre de dommages de chaque type et de leur importance.

Importance de l'étalonnage de l'examen visuel – Influence du type de support

L'examen visuel a montré tout son intérêt pour l'exploitation des essais d'endommagement sur site (première phase de l'étude – Budka *et al.*, 2006), en permettant de limiter le nombre d'essais de traction bi-axiale.

Néanmoins, pour les essais d'endommagement statique en laboratoire, le rapprochement entre les résultats des essais de traction bi-axiale et les observations visuelles montre que les opérateurs surestiment l'importance des défauts dans le cas du support souple par rapport au cas du support rigide. Cette surestimation semble due à la nature des défauts qui est différente suivant le type de support et au fait que le classement visuel est fait par les opérateurs par comparaison. La figure 9 illustre schématiquement les deux types

► Figure 9 – Exemples de types de défauts en fonction du support.



principaux de défauts rencontrés en fonction du support.

La surestimation faite par les opérateurs peut s'expliquer ainsi :

– dans le cas du support rigide, les défauts sont de type « indentation », plus localisés en surface, mais avec une réduction d'épaisseur notable de la géomembrane ;

– lorsque le support est déformable, les contraintes subies par la géomembrane ne sont plus uniquement de compression et les défauts sont plus étendus en surface, mais avec une faible réduction d'épaisseur.

Ces remarques confirment la nécessité d'étalonner l'examen visuel et d'effectuer un nombre suffisant d'essais de traction bi-axiale.

Conclusion

Les travaux présentés synthétisent la mise au point d'une procédure d'étude des effets des sollicitations de poinçonnement en service en

fond d'installation de stockage de déchets. Cette procédure s'appuie sur des essais d'endommagement statique de grandes dimensions exploités à l'aide d'essai de traction bi-axiale et d'examen visuels.

Cette procédure constitue un élément important d'une étude plus générale de détermination des caractéristiques nécessaires des géotextiles destinés à protéger la géomembrane contre les effets du poinçonnement liés à la mise en œuvre de la couche de drainage puis, en service, au poids des déchets susjacentes.

Un des éléments importants de la procédure a été la recherche de différents matériaux industriels à placer en support de la géomembrane et susceptibles de simuler le comportement d'argiles utilisées en fond d'ISD, ce qui permet de simplifier la réalisation des essais. Ainsi, le résultat principal des travaux présentés ici est de proposer un banc de simulation des endommagements en service pouvant contribuer au dimensionnement du géotextile pour un projet donné. □

Résumé

Les géotextiles sont utilisés dans la constitution des étanchéités des installations de stockage de déchets (ISD) pour protéger la géomembrane contre les effets du poinçonnement liés à la mise en œuvre de la couche de drainage puis, en service, au poids des déchets sus-jacents. À ce jour, les deux essais normalisés de poinçonnement, statique et dynamique, figurant sur les fiches techniques des géotextiles de protection ne permettent pas directement le choix du produit adapté. La mise au point d'une procédure d'étude des effets des sollicitations en service est présentée ici ; elle s'appuie sur des essais d'endommagement de grandes dimensions et fait suite à une étude déjà publiée sur l'effet des sollicitations de mise en œuvre (Budka *et al.*, 2006).

Abstract

Protecting geotextiles are used in the design of watertight bottom liners at landfill sites, above the geomembrane, to protect it against puncture during the installation of the drainage layer and, during the service life, to the weight of the waste to be put in place. To date, the results of the 2 standard tests (static and dynamic tests) given by the technical sheets for the protecting geotextiles are not sufficient to choose the good geotextile. The development of an experimental procedure to simulate in the lab the waste loading conditions is presented here ; this procedure uses large size static damage tests and follows a previous study concerning the implementation dynamic conditions (Budka *et al.*, 2006)

Bibliographie

BIGUET, R., 2009, *La certification et la qualification ASQUAL des géosynthétiques*, Rencontres Géosynthétiques 2009, à paraître.

BUDKA, A., BLOQUET, C., BENNETON, J-P, CROISSANT, D., GIRARD, H., KHAY, M., 2006, Performances de différents géotextiles de protection de la géomembrane dans les installations de stockage de déchets, *Ingénieries-EAT*, numéro spécial Géosynthétiques – Applications aux installations de stockage de déchets et aux ouvrages hydrauliques, p. 7-15.

LAMBERT, S., DUQUENNOI, C., 2001, From burst test to bi-axial tensile test, Geosynthetics Conference 2001, Portland, USA, p. 701-714.

REDDY, K.-R., SAICHEK, R.-E., 1998, A rational design for the protection of landfill geomembranes liners, in : *6th International Conference on Geosynthetics*, Atlanta, USA, 25-29 mars 1998, p. 289-294.

SEEGER, S., MULLER, W., 1996, Requirements and testing of protective layers systems for geomembranes complete, *Geotextiles and Geomembranes*, n° 14, p. 365-376.

Documents utiles

AFNOR, 1996, NF P84-507, Essais des géomembranes – Détermination de la résistance au poinçonnement statique des géomembranes et des dispositifs d'étanchéité par géomembranes - Cas du poinçon cylindrique sans support.

AFNOR, 2003, NF EN 13719, Géotextiles et produits apparentés – Détermination de l'efficacité de protection à long terme des géotextiles en contact avec les barrières géosynthétiques.

AFNOR, 2006, NF EN 13493, Géomembranes, géosynthétiques bentonitiques – Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des ouvrages de stockage et d'enfouissement de déchets solides.

AFNOR, 2008, XP 84-503, Géomembranes – Dispositifs d'étanchéité par géomembranes (DEG) – Détermination des caractéristiques en traction bi-axiale.

CFG, 2001, Guide pour la réalisation de planches d'essais d'endommagement, Comité français des Géosynthétiques, www.cfg.asso.fr, 16 p.