

ÉVALUATION DE LA PROTECTION CONTRE L'ENDOMMAGEMENT DES GÉOMEMBRANES EN PEHD

EVALUATION OF HDPE GEOMEMBRANES PROTECTION AGAINST PUNCTURING

Guillaume GAILLARD, Didier CROISSANT, Nathalie TOUZE-FOLTZ
Cemagref Unité HBAN, Antony, France

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. On évalue dans cette communication la performance de géotextiles non tissés aiguilletés de masse surfacique moyenne égale à 1000 g/m² à partir d'essais d'endommagement statique dans des cellules de dimensions métriques. Ces essais ont été développés antérieurement par Aufrère et al. (2009). Des préconisations sont données dans la suite en termes de longueur des fibres, module d'élasticité apparent, masse surfacique et épaisseur des géotextiles en fonction de la nature du granulat, roulé ou concassé en contact avec la géomembrane.

Mots-clés : géotextiles, géomembrane PEHD, poinçonnement, protection, essais.

ABSTRACT – Geotextiles are used in the constitution of landfill lining systems in order to protect the geomembrane against puncturing effects during installation of the granular drainage layer, then during the life of the landfill site, in relation with the weight of waste. The objective of this paper is to evaluate the performance of nonwoven needlepunched geotextiles having an average mass per unit area equal to 1000 g/m² in protecting geomembrane, based on static puncture tests performed in 1m diameter cells. These tests were previously developed by Aufrère et al. (2009). Recommendations are given in the following as regards the length of fibres, the elasticity modulus, the mass per unit area and the thickness of the geotextile depending on the nature of the granular material used.

Keywords: Geotextiles, HDPE geomembrane, puncturing, protection, testing.

1. Introduction

En fond d'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, poinçonnement statique et dynamique, figurant sur les fiches techniques des géotextiles de protection 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).

La mise au point d'une procédure d'étude des effets des sollicitations en service constitue le sujet principal traité dans cette publication ; 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'Etanchéité par Géomembrane (DEG) et à lui appliquer en laboratoire une contrainte statique pendant une longue durée (4 jours), ceci à l'aide d'un bâti développé à cet effet. Des expérimentations préalables (Aufrère et al., 2009) ont montré que les résultats obtenus en 100 heures n'étaient pas différents des résultats obtenus sur une période plus longue de 1000 heures). Le DEG comporte, de haut en bas :

- une couche de granulats 20/40 mm, roulés ou concassés, de 30 cm d'épaisseur ;

- un géotextile ; onze géotextiles provenant de différents producteurs ont été employés ; tous ont une masse surfacique voisine de 1000 g/m² ; une étude précédente a en effet montré que si des géotextiles de masse surfacique égale à 1200 g/m² pouvaient être adaptés pour protéger la géomembrane contre le risque de poinçonnement (Guéret, 2009), dans la gamme des masses surfaciques voisines de 1000 g/m² le niveau de protection était variable d'un géotextile à l'autre et d'un granulat (roulé ou concassé à l'autre) ; ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus par Jones et al. (2000) ;
- la géomembrane en polyéthylène haute densité (PEHD) ;
- un support en caoutchouc simulant la couche argileuse placée en fond d'ISD (Aufrère et al., 2009).

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. Cette étude reprend les protocoles expérimentaux développés par Aufrère et al. (2009) mais approfondit la détermination d'un lien entre différentes propriétés des géotextiles non tissés aiguilletés testés et leurs performances en termes de protection de la géomembrane, pour des géotextiles de masse surfacique voisine de 1000 g/m².

On présente dans la suite de cet article en premier lieu les matériaux de l'étude, avec les propriétés qui se sont révélées importantes dans le cadre de l'étude, et on rappelle brièvement ce que sont les dispositifs expérimentaux utilisés. On rappelle ensuite la méthode de classification des endommagements utilisée. On présente dans le paragraphe 3 les résultats obtenus et leur interprétation avant de conclure.

2. Présentation des matériaux de l'étude et des dispositifs expérimentaux

2.1. Géotextiles utilisés

Le tableau 1 présente une partie des caractéristiques utiles des onze géotextiles testés dans le cadre de cette étude. Tous correspondent à des fiches techniques indiquant une masse surfacique de géotextile égale à 1000 g/m². On y indique pour les différents géotextiles testés la masse surfacique mesurée au laboratoire selon la norme NF EN ISO 1864, le module d'élasticité apparent du géotextile, E, les polymères principaux constitutifs des géotextiles, ainsi que la longueur des fibres qui semble avoir un impact sur la protection des géomembranes comme nous le verrons au paragraphe 3.

Le module d'élasticité apparent des géotextiles a été calculé à partir des résultats obtenus dans les essais de poinçonnement statique qui ont été réalisés sur les différents géotextiles selon la norme NF P 84-507 selon la modélisation développée par Gaillard (2010).

La figure 2 montre la variabilité de masse surfacique de GTX qui peut être rencontrée, même pour des produits certifiés au sein d'une nappe et qui peut en partie expliquer certains des résultats obtenus dans la suite, à l'échelle métrique.

2.2. Géomembrane

Dans tous les essais on a utilisé une géomembrane en polyéthylène haute densité de 2mm d'épaisseur. Toutes les éprouvettes de géomembrane testées provenaient du même matériau.

2.3. Granulats

Deux types de granulats susceptibles d'être rencontrés en installations de stockage de déchets, roulés et concassés, de granulométrie 20/40 mm, ont été utilisés.

2.4. Dispositifs expérimentaux

Conformément à ce qui avait été présenté par Aufrère et al. (2009) les essais ont été réalisés dans des cellules de dimension métrique permettant la reconstitution d'une étanchéité composite (voir Figure 1). La présence de la couche d'argile est simulée par un support en polychloroprène dense (commercialisé sous la référence: Néo 50 Sh) de 0,95 m de diamètre, 25 mm d'épaisseur avec une dureté Shore A de 50. Ce produit présente une densité de 1,40, une résistance à la rupture en traction supérieure à 6 MPa et un allongement à la rupture supérieur à 250 % (Guéret, 2009).

Les conditions aux limites de l'appareillage avec une contrainte latérale nulle et des frottements entre les granulats et la plaque d'acier supérieure ne permettent pas de redistribuer uniformément la contrainte sur l'échantillon. Il se produit alors, de manière identique à une éprouvette de béton en compression, un cône de contrainte amplifié et non homogène vers le centre de l'éprouvette. Guéret (2009) a mis au point avec une cellule de pression totale des droites d'extrapolations linéaire permettant d'évaluer la contrainte effective sur le complexe géosynthétique en fonction de la contrainte appliquée sur la couche granulaire. Dans les ISD françaises la géomembrane supporte, une structure de drainage (0,50 m de granulats soit environ 10 kPa) surmontée de couches de déchets pouvant atteindre 30 m (300 kPa) voir plus dans certains cas et d'une couverture d'environ un mètre d'épaisseur. Si l'on se munit d'un coefficient de sécurité fixée par rapport à la norme NF EN 13719 (AFNOR, 2003), de 1,67 (=2,5/1,5, sans considérer de coefficient de sécurité sur la contrainte mécanique) destiné à prendre en compte l'influence de la température (23°C au lieu de 40°C) et de la durée de l'essai (100 heures au lieu de 1000 heures), il nous faudrait alors appliquer environ 530 kPa sur le complexe géosynthétique. Pour les obtenir, il nous suffit alors d'après Guéret (2009) d'avoir une contrainte de 300 kPa sur la couche granulaire, soit une force de 55 kN.

Tableau 1. Quelques propriétés des géotextiles utilisés dans le cadre de l'étude

GTX	Épaisseur (mm) EN ISO 9863-1	Masse surfacique (g/m ²)	E (MPa)	Polymères principaux	Longueur des fibres	Certification ASQUAL marquage CE
1	7,5	1004 (± 18) (k=2)	26,1	PP vierge	Courtes	ASQUAL /CE
2	6,5	987 (± 89) (k=2)	21,0	PP vierge	Longues	ASQUAL /CE
3	7	997 (± 21) (k=2)	23,1	PP vierge	Courtes	CE
4	7	985 (± 27) (k=2)	10,0	PP et polyester recyclé	Courtes	CE
5	7,2	1014 (± 57) (k=2)	14,9	PP vierge	Longues	CE
6	6,1	973 (± 38) (k=2)	28,3	PP vierge	Courtes	CE
7	7,5	918 (± 34) (k=2)	15,3	PP vierge	Courtes	ASQUAL /CE
8	6,3	1076 (± 23) (k=2)	27,9	PP vierge	Courtes	CE
9	6,55	1029 (± 52) (k=2)	24,2	PP vierge	Courtes	CE
10	7	971 (± 32) (k=2)	9,6	PP multicolore	Courtes	CE
11	7,1	1003 (± 28) (k=2)	19,4	PP vierge	Longues	CE

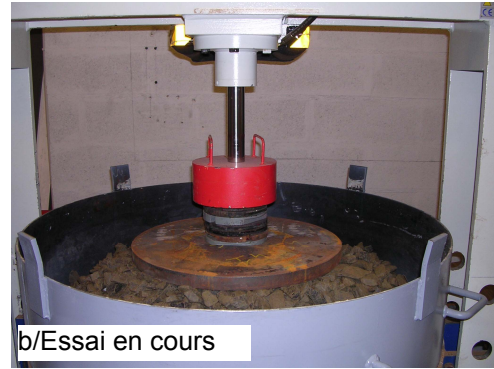
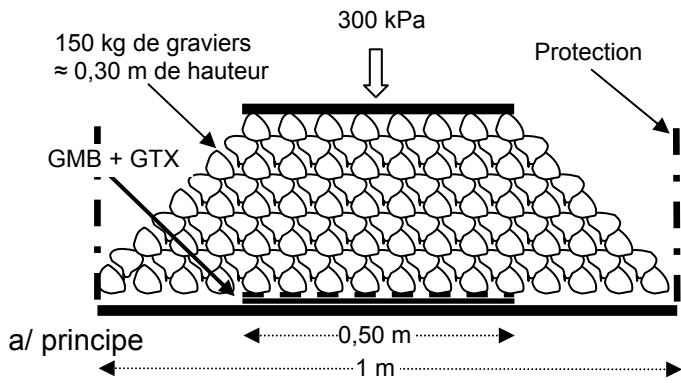


Figure 1. Schéma de l'appareillage de l'essai d'endommagement statique (d'après Aufrère et al., 2009)

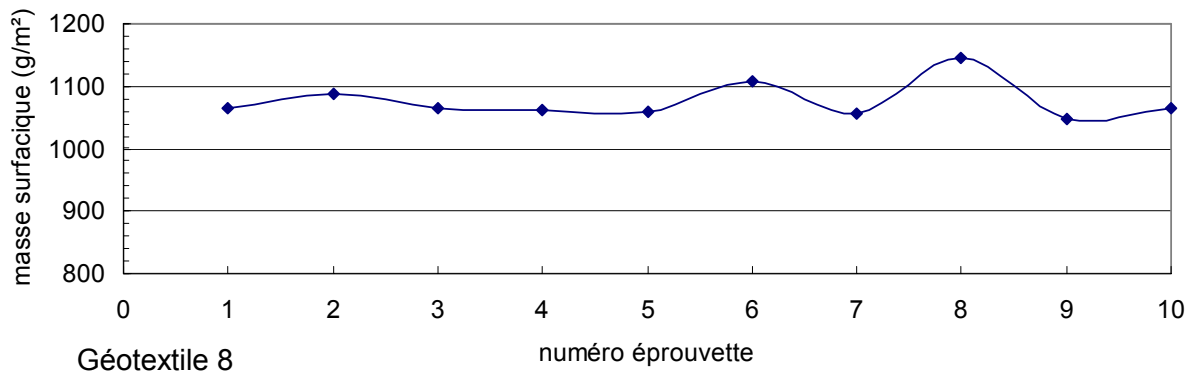
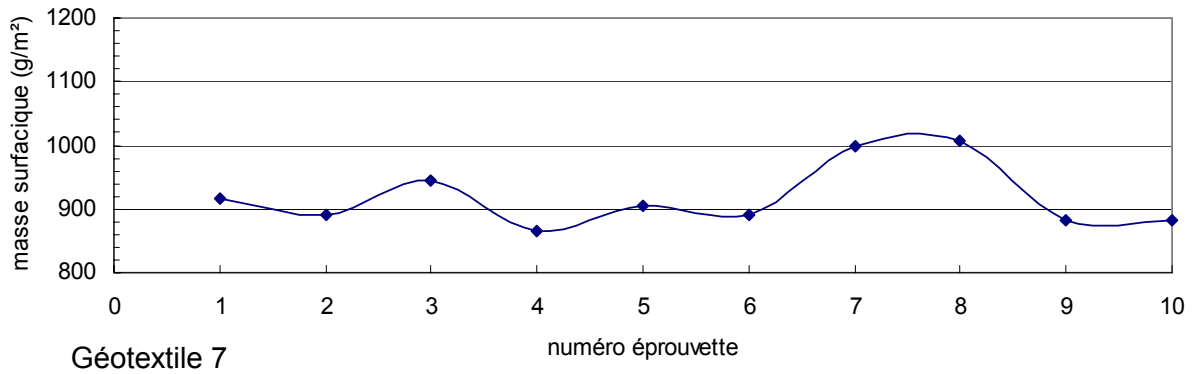
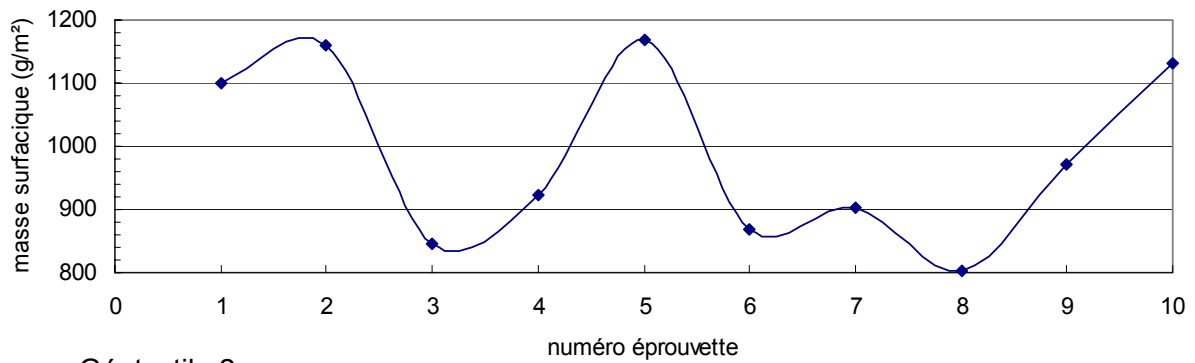


Figure 2. Évolution de la masse surfacique des éprouvettes sur une largeur de rouleau pour les géotextiles 2, 7 et 8

2.5. Procédure pour l'exploitation des résultats des essais d'endommagement statique

Les résultats des essais d'endommagement statique concernant l'adéquation d'un géotextile pour la protection contre l'endommagement des géomembranes sont basés sur une observation visuelle complétée, pour toutes les éprouvettes, par la réalisation d'essais de traction bi-axiale.

Les résultats obtenus dans l'essai de traction bi-axiale ne confirment pas systématiquement le classement établi lors de l'observation visuelle. En effet, pour 6 essais sur 22 réalisés, l'observation visuelle ne correspond pas à la valeur de la déformation à rupture du défaut majeur de l'échantillon de géomembrane.

Dans le cas de l'analyse réalisée dans cette étude, on a donc réévalué le critère de satisfaction visuel pour les configurations d'essais avec granulats roulés et concassés à partir de l'étalonnage effectué à l'aide des essais de traction bi-axiale. Comme les observations visuelles ne se limitent pas au seul classement du défaut majeur, elles n'ont pas été remplacées par l'essai de traction biaxiale mais seulement complétées lorsqu'un défaut se révèle inacceptable.

2.5.1. 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 (CFG, 2001) ont été utilisées. Les cinq types de dommages référencés dans le guide CFG ont été observés sur les échantillons de géomembrane soumis à l'endommagement statique :

- "*éraflure*" : rayure de surface ;
- "*entaille*" : rayure en profondeur, sans percement ;
- "*indentation*" : poinçonnement ponctuel rémanent et sans perforation, avec réduction d'épaisseur importante ;
- "*déformation*" : déformation de la géomembrane du fait du tassement du support, sans réduction notable de l'épaisseur, rémanente ou non ;
- "*percement*" : trou ou déchirure.

L'observation visuelle se déroule comme suit :

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

Sachant que les contraintes mécaniques sont plus fortes au centre de l'éprouvette que sur les bords, si une éprouvette présente un unique défaut non acceptable en son centre, on peut tout de même considérer que le géotextile de protection a été plus efficace que celui d'une éprouvette présentant une multitude de défauts du même type, moins importants mais sur toute sa surface. Cette considération a été prise en compte dans l'interprétation des essais.

2.5.2. 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 (figure 3). 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.



Figure 3. Aspect d'éprouvettes après essais de traction bi-axiale, à gauche pour un PEHD vierge et à droite pour un PEHD après essai d'endommagement statique

Pour chaque éprouvette soumise à l'essai d'endommagement, de diamètre 0,5 m, on prélève une éprouvette pour l'essai de traction bi-axiale de diamètre 0,3 m (diamètre utile égal à 0,2 m). En général, le dommage jugé le plus important est 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 Duquennoi (2001) ; Aufrère et al. (2009) ont proposé de considérer que la 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 ; 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 termes 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).

3. Résultats obtenus

La figure 4 présente les résultats obtenus dans le cas de l'utilisation de granulats roulés. Les grands rectangles correspondent à la valeur de la masse surfacique de géotextile, tandis que les petits rectangles correspondent au module d'élasticité apparent. Les barres sont vertes et marquées S lorsque les géotextiles ayant assuré une protection suffisante ; elles sont rouges et marquées I lorsque la protection apportée par le géotextile est jugée insuffisante. On observe que la protection est suffisante dans le cas où la masse surfacique moyenne du géotextile est supérieure à 1000 g/m², ou très voisine, et que le module d'élasticité apparent est supérieur à 10 MPa. Pour le géotextile 6, bien que la masse surfacique du géotextile soit localement supérieure à 1000 g/m², ceci n'est pas suffisant pour assurer une bonne protection de la géomembrane.

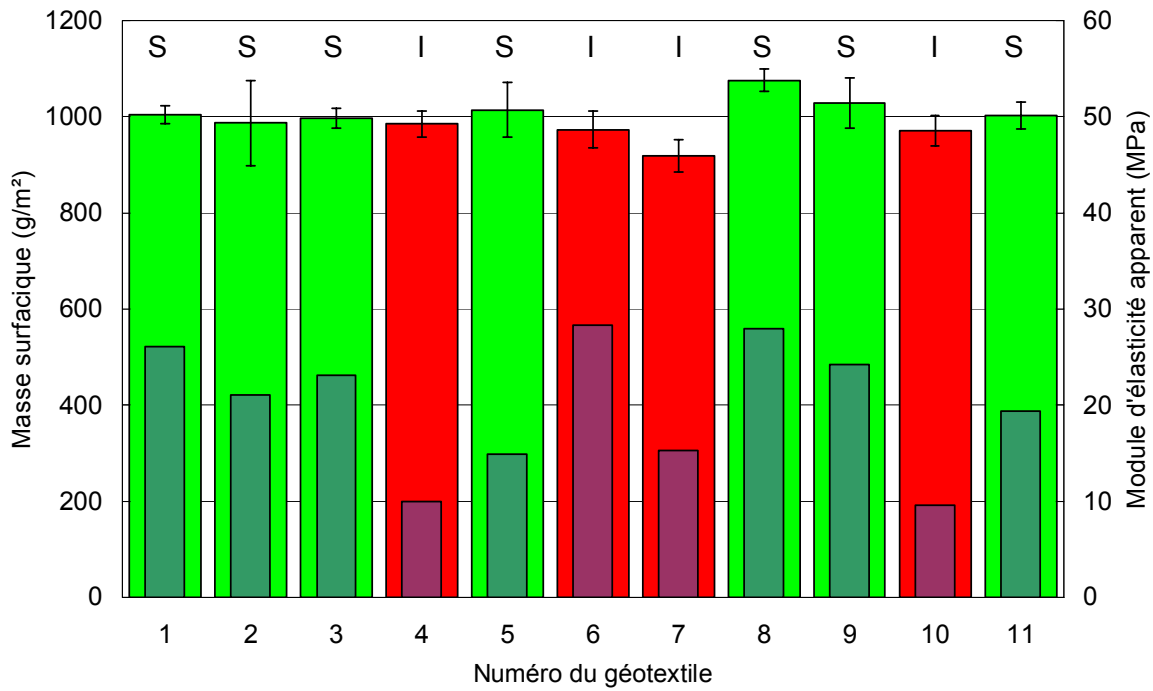


Figure 4. Masses surfacique (barre large) et modules d'élasticité apparents (barre intérieure mince) des géotextiles pour les essais effectués avec les granulats roulés. Les barres vertes marquées S indiquent une protection suffisante tandis que les barres rouges marquées I indiquent une protection insuffisante.

La figure 5 présente les résultats obtenus pour les granulats concassés. Dans ce cas, on observe que la protection apportée par le géotextile n'était pas suffisante lorsque l'épaisseur du géotextile était inférieure à 6,5 mm. Pour des épaisseurs supérieures, les géotextiles constitués de l'assemblage de fibres longues n'ont pas apporté une protection satisfaisante. En se fondant sur ces résultats, la préconisation serait alors d'avoir recours à des géotextiles de masse surfacique supérieure ou égale à 1000 g/m², d'épaisseur supérieure à 6,5 mm et constitués de l'assemblage de fibres courtes.

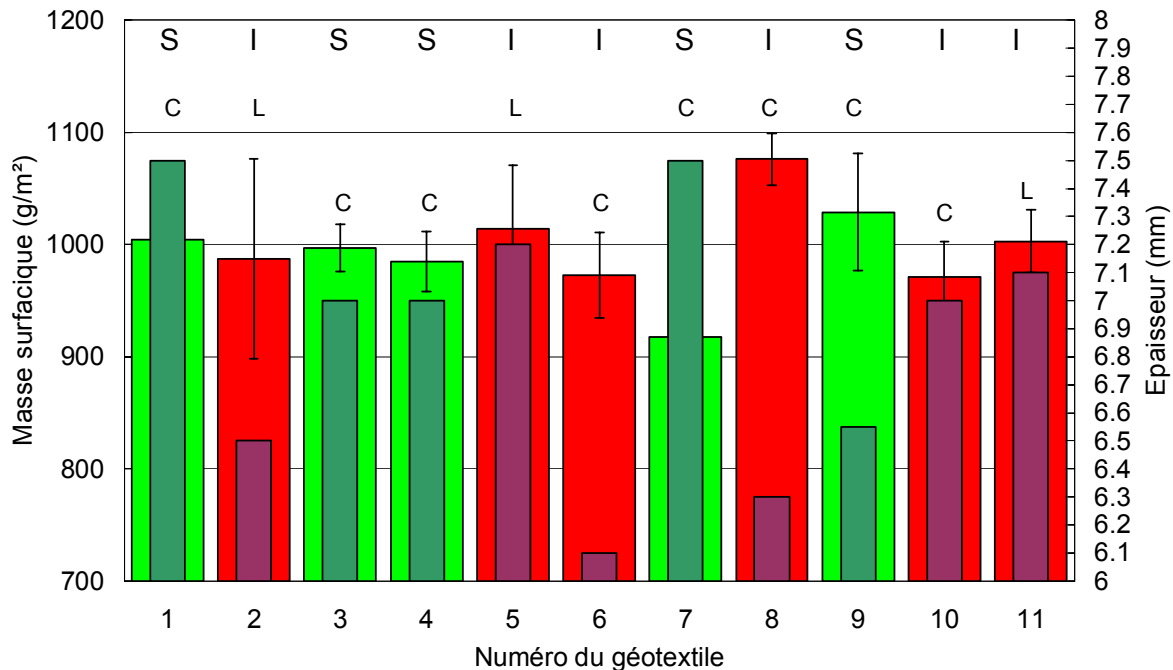


Figure 5. Masses surfacique (barre large) et épaisseur (barre intérieure fine) des géotextiles pour les essais effectués avec les granulats concassés. Les barres vertes (S) indiquent une protection suffisante tandis que les barres rouges (I) indiquent une protection insuffisante. C pour fibres courtes et L pour les fibres longues

4. Conclusions

Onze géotextiles provenant de différents producteurs et de masse surfacique annoncée égale à 1000g/m² ont été testés dans l'objectif de corrélérer la protection contre l'endommagement des géomembranes en PEHD à différentes propriétés des géotextiles. Cette masse surfacique a été choisie en lien avec les résultats d'études précédentes qui ont montré que, pour cette masse surfacique, la protection apportée pouvait ou non être acceptable. De grandes tendances apparaissent à travers les résultats de cette étude qui peuvent constituer le début d'une démarche de dimensionnement, permettant au moins de définir les "cas à exclure" ; les conclusions présentées ici sont valables pour les onze géotextiles testés, sous une contrainte de confinement correspondant à une hauteur de 30 m de déchets pour une géomembrane en PEHD de 2 mm d'épaisseur.

L'observation des résultats obtenus pour des granulats roulés indique que la masse surfacique minimum du géotextile (sur une largeur de production) doit être égale à 1000 g/m² et le module d'élasticité apparent du géotextile strictement supérieur à 10 MPa.

Pour des granulats concassés la masse surfacique doit être au moins égale (valeur minimum sur une largeur de production) à 1000 g/m², l'épaisseur du géotextile supérieure à 6,5 mm, les assemblages de fibres courtes étant plus efficaces.

Dans cette démarche, l'utilisation de valeurs issues des fiches techniques du marquage CE ou de la certification ASQUAL n'est envisageable que dans la mesure où l'on considère la plage de variation de chaque valeur. En effet, les caractéristiques de la majorité des géotextiles sont très hétérogènes sur une largeur de production. Dans les recommandations ci-dessus, il faudrait donc utiliser un géotextile de 1200 g/m² qui, avec la plage de variation tolérée de +/- 10%, reste supérieur à 1000 g/m².

Cette étude est une approche qui, en aucun cas, ne peut être considérée comme finalisée. Il est donc prématuré et imprudent de se servir de ces données pour le dimensionnement d'un géotextile de protection.

5. Références bibliographiques

- AFNOR (2006) Norme 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 (2005) Norme NF EN ISO 9864. Géosynthétiques - Méthode d'essai pour la détermination de la masse surfacique des géotextiles et produits apparentés.
- AFNOR (1996) Norme 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 (2008) Norme XP P 84-503, Géosynthétiques – Détermination des caractéristiques en traction biaxiale.
- Aufrère, A. (2008) Étude de la protection des géomembranes contre les sollicitations de poinçonnement – Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur, Polytech'Clermont-Ferrand, 102 pages.
- Aufrère, A., Bloquet, C., Budka, A., Croissant, D., Gallo, Girard, H., Lussac, F. (2009) Protection anti-poinçonnement des géomembranes en installation de stockage de déchets : une procédure d'étude; *Rencontres Géosynthétiques 2009*, 329-338.
- Budka, A. et al. (2006) Performances de différents géotextiles de protection de la géomembrane dans les installations de stockage de déchets, *Rencontres géosynthétiques 2006*, 29-36.
- Gaillard, G. (2010) Protection des géomembranes contre les sollicitations de poinçonnement dans les installations de stockage de déchets - Recommandation d'un géotextile de protection par des essais ex situ pour des sollicitations de service - Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur, Polytech'Clermont-Ferrand, 85 p.
- Guéret, A. (2009) Étude de la protection des géomembranes contre les sollicitations de poinçonnement – Cas des sollicitations de service dans les installations de stockage de déchets. – Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur, Polytech'Clermont-Ferrand, 102p.
- Jones et al. (2000) Difficulties associated with the specification of protection geotextiles using only unit weight, *Proceedings Eurogeo2, Bologna, Italy*, 551-555.
- Lambert S., Duquennoi C. (2001) From burst test to bi-axial tensile test, *Geosynthetics Conference 2001, Portland, USA*, 701-714.