

RÉSISTANCE AU POINÇONNEMENT DES DEG – APPROCHE EXPÉRIMENTALE

PUNCTURING FORCE OF GEOSYNTHETIC LINING SYSTEMS – EXPERIMENTAL APPROACH

Matoren KHAY¹, Jean-Paul BENNETON², Dominique LOZACH¹

¹ CETE Normandie Centre - Centre d'Expérimentation Routière CER, Grand Quevilly, France

² Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées, Lyon, France

RÉSUMÉ – L'endommagement des dispositifs d'étanchéité par géomembrane reste une préoccupation majeure liée à leurs performances à court terme et leur durabilité à long terme. Une étude expérimentale comportant 40 planches d'essais en place d'endommagement à la mise en œuvre couplées avec des essais d'éclatement et de poinçonnement en laboratoire a été effectuée. Cette étude a porté sur les DEG avec les géomembranes les plus courantes, deux types de supports et deux types de granulats de recouvrement. Les résultats ont permis de proposer un outil de relevé quantifié de la déformation de la géomembrane par mesure laser et un critère d'évaluation de l'état d'endommagement à l'essai biaxial d'éclatement hydrostatique.

Mots-clés : Dispositif d'étanchéité par géosynthétiques, essais en place, essais en laboratoire, endommagement, poinçonnement.

ABSTRACT - The damage of the geosynthetic lining systems is the major issue conditioning their short term performances and their durability. An experimental approach with more than 40 damage at installation test sections, labs burst tests and labs puncturing tests is carried out. Lining systems with some common types of geomembrane in two conditions of soil base and covering material are tested. A lab deformation measurement device and a criteria to estimate the damage level at burst test of damaged geomembrane are proposed.

Keywords: Geosynthetic lining systems, on-site tests, labs tests, damage, puncturing tests

1. Introduction

Dans les dispositifs d'étanchéité par géosynthétique, l'efficacité à long terme du système de drainage conduit généralement à l'emploi des granulats grossiers. La géomembrane se trouve ainsi souvent placée en contact avec ces matériaux granulaires et également sur des sols supports plus ou moins agressifs. Elle est soumise dans ces conditions à des contraintes localisées pouvant être relativement élevées. Deux approches sont pratiquées pour la protection de ces dispositifs : une approche à court terme pour la protection vis-à-vis de l'endommagement mécanique de la géomembrane et une approche à long terme sur l'efficacité du dispositif au cours de la durée de service. Généralement pour la protection à court terme, la méthode pratique et empirique est de sélectionner le géotextile de protection en fonction de leur masse surfacique en fonction des différents paramètres d'environnement tels que la nature de la géomembrane et du sol support, les matériaux de recouvrement et les sollicitations de mise en œuvre. Cette communication présente les résultats d'une étude expérimentale conduite au CER dans le cadre d'une opération de recherche du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées portant sur cet aspect de la durabilité des géosynthétiques.

2. Programme d'étude

L'étude s'appuie sur deux séries de 40 planches d'essais d'endommagement en place de DEG et une série d'essais en laboratoire d'éclatement biaxial (cellule de 650 mm de diamètre selon prEN 14151). En fonction des modalités, le DEG est constitué d'une géomembrane associée à une simple ou une double protection en géotextile nontissé aiguilleté à filaments continus. Les essais en place ont été réalisés sur une structure comportant sous le DEG un fond de forme support soit en sol fin (module EV2 de 20 MPa), soit en granulats 20/40 mm et au-dessus du DEG une couche de 30 cm d'épaisseur de matériau d'apport du même granulats 20/40 mm. La mise en œuvre du granulats d'apport est effectuée au moyen

d'un chargeur sur pneus travaillant à l'avancement. Sur la structure finie, une sollicitation supplémentaire constituée de 50 passages de chargeur à vide (9,5 tonnes) et de 50 passages de chargeur lesté (12 tonnes) est effectuée.

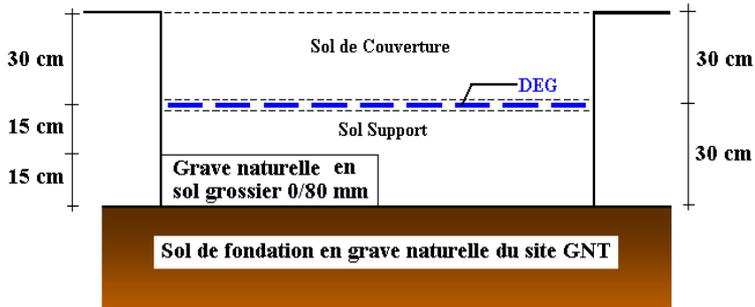


Figure1. Structure-type des planches d'essais



Figure 2. Vue de la mise en oeuvre



Figure 3. Vue du DEG sur support limon



Figure 4. Vue du DEG sur granulats 20/40 mm

3. Essais réalisés

Le programme des essais en place est donné sur le tableau I. Après essai, le DEG est prélevé de la planche d'essais par démontage de la structure par aspiration pour éviter tout endommagement accidentel. L'analyse après essais comporte un examen visuel de l'état d'endommagement de la géomembrane suivi d'un relevé de l'état de surface de la géomembrane par profilomètre laser et essai d'éclatement biaxial. L'examen visuel s'est révélé fastidieux et qualitatif. Pour cela, un dispositif de relevé par lecture laser de la déformation permanente de la géomembrane a été mis au point pour permettre la quantification de l'endommagement. Il s'agit d'une tête de lecture laser montée sur un équipement mobile et motorisé se déplaçant le long d'une poutre rigide posée sur un portique de mesure. Un logiciel associé permet une analyse des relevés en terme de taille et de profondeur de l'impact et leur classement en terme de fréquence. Ces moyens très adaptés pour les cas d'endommagement sévère (perçement, déformation importante) reste cependant insuffisants dans le cas des endommagements de très petites dimensions et peu adaptés dans le cas des géomembranes souples à déformation non permanente. L'association d'un appareil éclatomètre de diamètre d'éprouvette de 650 mm permet de compléter utilement l'étude de l'état d'endommagement de la géomembrane.

Tableau I. Planches d'essais réalisées (1^{ère} série)

Nature sol support	Granulats de recouvrement 20/40 mm	Géomembrane		Protection géotextile	
		Nature	Epaisseur	En-dessous de la géomembrane	Au-dessus de la géomembrane
Limon	Concassés	PEHD	1,5 mm	néant	300
					500
					700
	Roulés				300
					500
					700
	Concassés	PP	300		
			500		
			700		
	Roulés		300		
			500		
			700		
Concassés	PVC	300			
		500			
		700			
Roulés		300			
		500			
		700			
Granulats concassés 20/40 mm	Concassés	PEHD	1,5 mm	300	300
				500	500
				700	700
Granulats roulés 20/40 mm	Roulés			300	300
				500	500
				700	700
Granulats concassés 20/40 mm	Concassés	PP	1,5 mm	300	300
				500	500
				700	700
Granulats roulés 20/40 mm	Roulés			300	300
				500	500
				700	700
Granulats concassés 20/40 mm	Concassés	PVC	1,5 mm	300	300
				500	500
				700	700
Granulats roulés 20/40 mm	Roulés			300	300
				500	500
				700	700

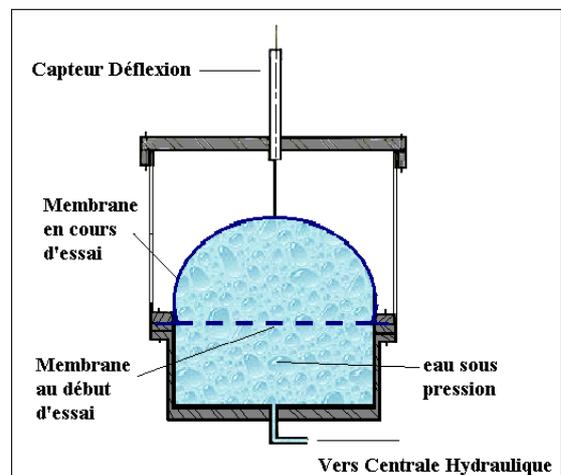


Figure 5. Eclatomètre MLPC et schéma de principe

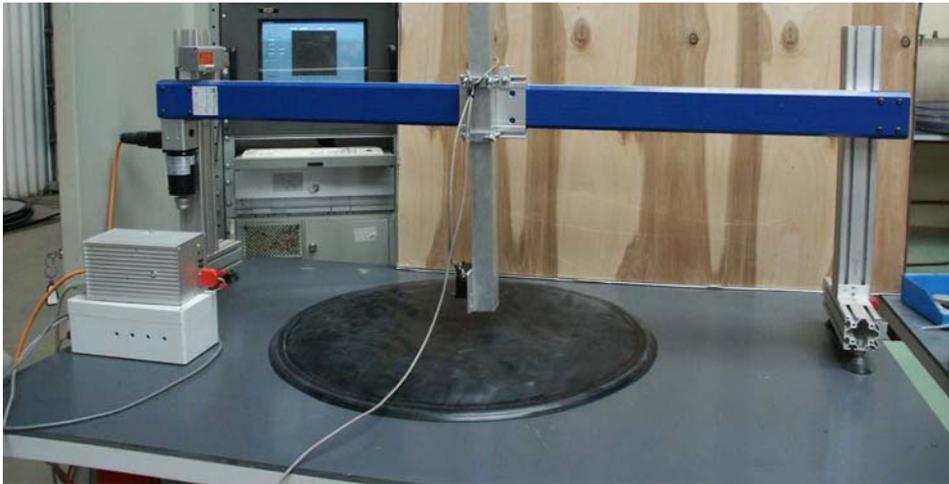


Figure 6. Profilomètre laser

4. Résultats des essais en place

4.1. Niveau d'endommagement

A partir des constatations visuelles et des relevés au profilomètre laser sur les géomembranes, quatre niveaux d'endommagement sont proposés. La typologie des endommagements adopte celle proposée dans le document établi par le groupe de travail poinçonnement du CFG. Un percement est considéré comme un endommagement majeur empêchant la géomembrane d'assurer sa fonction d'étanchéité. Les entailles et indentations sont des endommagements importants, mais une géomembrane avec ces endommagements reste encore imperméable ; les déformations et éraflures sont des endommagements de plus faible importance pour l'intégrité à court terme de la géomembrane :

Niveau I: la géomembrane a subi au moins un percement avec ou sans autres formes d'endommagement (rayure, entaille, déformation ou indentation).

Niveau II : la membrane n'a pas subi de percement, mais a au moins une indentation ou une entaille.

Niveau III- La géomembrane n'a subi ni percement, ni entaille ou indentation, mais a au moins une déformation ou une éraflure.

Niveau IV- Aucun endommagement apparent n'a été constaté sur la géomembrane.

4.2. Analyse des endommagement au profilomètre laser

La figure 7 donne le principe d'analyse des endommagement effectuée au profilomètre.

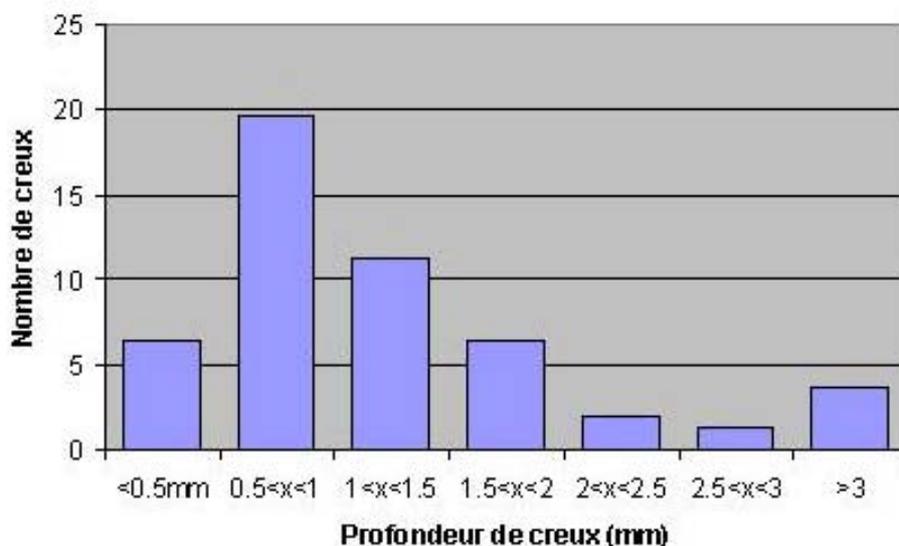


Figure 7. Exemple d'analyse de l'endommagement au profilomètre

Déformation de la géomembrane sur sol-support 20/40mm

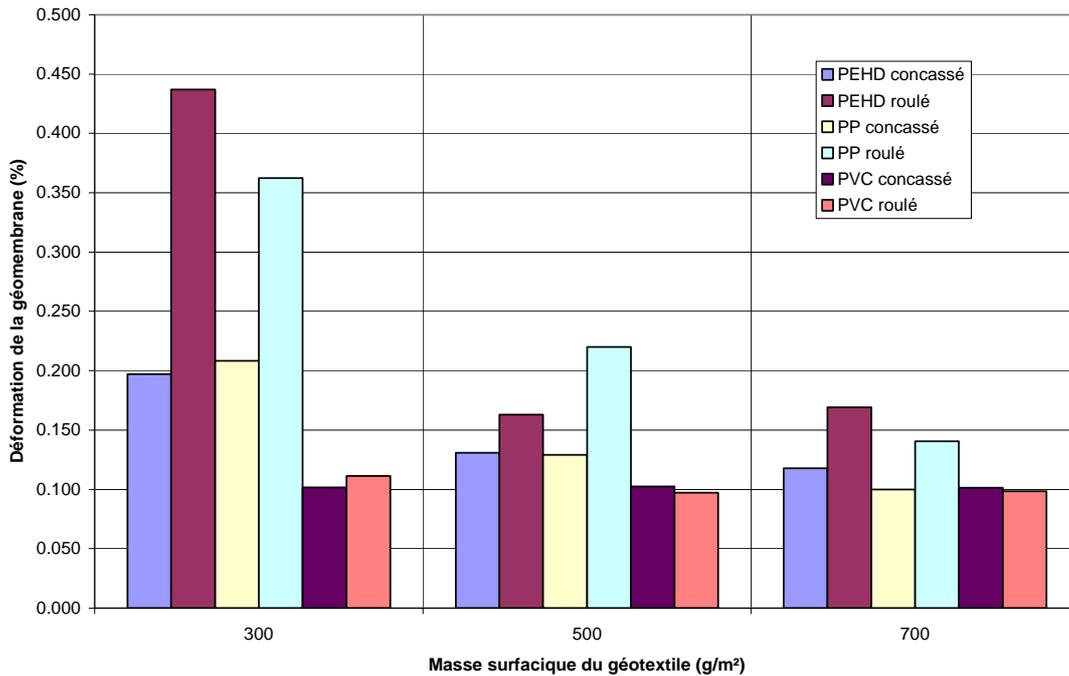


Figure 8. Exemple de résultats obtenus – Cas du PEHD avec granulats 20/40 mm

4.3. Critère éclatométrique

Les essais d'éclatement sont réalisés à vitesse de déformation constante de 5%/min. Ils ont montré que les caractéristiques de résistance et de déformation de l'éprouvette de géomembrane endommagée sont peu modifiées par rapport à celles de l'éprouvette vierge. Le critère retenu pour classer l'état d'endommagement est celui de la rupture anticipée de l'éprouvette endommagée par rapport à celle vierge dans le plan pression d'éclatement/déflexion de la calotte. Le niveau I d'endommagement correspond à une variation relative de la déflexion supérieure à 50%.

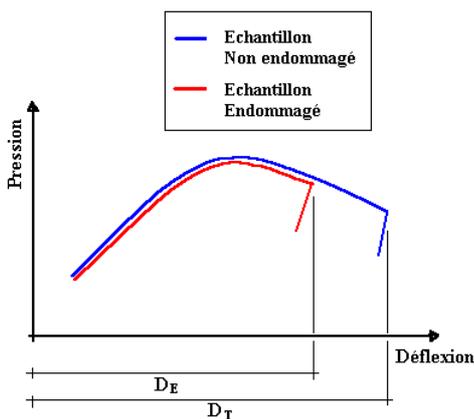


Figure 9. Critère de perte de déflexion

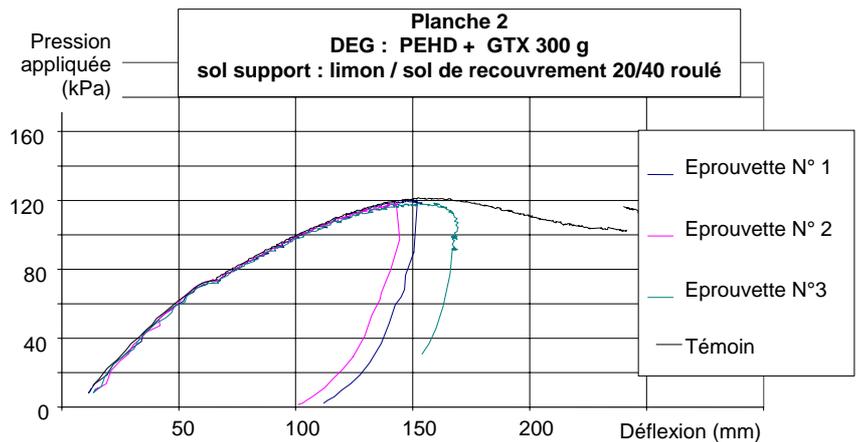


Figure 10. Exemple du PEHD endommagé

4.4. Résultats

Les résultats exprimés en terme de niveau d'endommagement et obtenus à partir de l'ensemble des moyens mis en œuvre sont donnés sur le tableau 2. Il en résulte, dans les conditions relativement sévères des essais, que d'une façon générale la protection mise en œuvre, jusqu'à 700 g/m², s'est montrée dans ces conditions insuffisante dans la majorité des cas : 75% des cas avec

endommagements sévères de niveaux 1 et 2. Les impacts sont dirigés généralement du bas vers le haut. Les endommagements sévères sont observés plus particulièrement dans les cas avec granulats roulés. Dans ces cas, les sollicitations et déplacements horizontaux sont particulièrement favorisés.

Tableau II. Résultats d'endommagement global

Sol Support	Sol de Couverture	Masse surfacique du Géotextile de Protection	PEHD	PVC-P	PP
Limon	Roulé	300	I	I	I
		500	I	III	I
		700	I	I	IV
Limon	Concassé	300	II	III	I
		500	I	IV	I
		700	III	IV	I
Roulé	Roulé	300	I	I	I
		500	III	I	I
		700	IV	I	I
Concassé	Concassé	300	I	I	I
		500	II	I	I
		700	IV	IV	I

	Niveau I
	Niveau II
	Niveau III
	Niveau IV

5. Résultats des essais de poinçonnement en laboratoire

Les essais de laboratoire comportent des essais de poinçonnement pyramidal sur support rigide (EN 14574), statique par poinçon cylindrique sans support (NFG 84507) et hydrostatique. Ces essais ont pour objet de trouver un moyen d'essai index en lien avec le poinçonnement observé dans les planches d'essais en vraie grandeur. Les essais ont été réalisés avec les mêmes géomembranes et géotextiles utilisés dans les planches d'essais.

5.1. Essais de poinçonnement cylindrique sans support

Ces essais montrent que l'effort maximal de poinçonnement du géotextile de protection varie linéairement avec sa masse surfacique. L'essai pratiqué sur le DEG montre que la réponse en terme d'effort maximal de poinçonnement n'est pas modifiée et est une fonction linéaire de la masse surfacique du géotextile de protection quelle que soit la nature de la géomembrane. Avec une même protection, l'effort maximal est du même ordre de grandeur dans le cas du DEG avec le PP ou le PVC et plus grand dans le cas avec le PEHD. Le calage par rapport aux résultats des planches d'essais montre que le niveau d'effort équivalent atteint dans les conditions de sollicitation en place serait supérieure à 2 kN (figure 11).

5.2. Essais de poinçonnement pyramidal sur support rigide

Ces essais montrent des résultats dont les conclusions sont identiques à celles données précédemment dans le cas du poinçonnement par poinçon cylindrique. L'effort maximal de poinçonnement du géotextile de protection est de l'ordre de 4 fois supérieure à celui de l'essai précédent. Le calage par rapport aux résultats des planches d'essais montre que les spécifications dans ces conditions de sollicitation serait supérieure à 2.5 kN (figure 12).

Effort maximal de poinçonnement par poinçon cylindrique

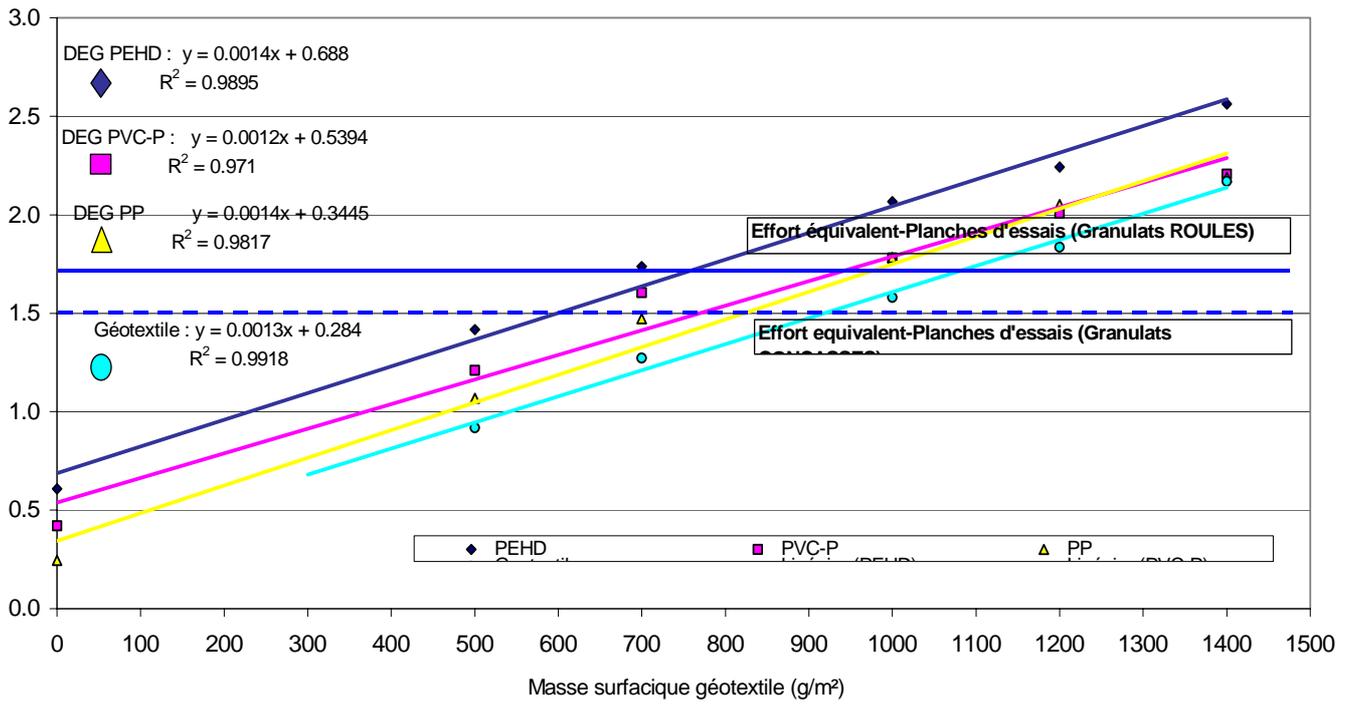


Figure 11. Essai de poinçonnement par poinçon cylindrique sans support (NFG 84507)

Effort Maximal au poinçonnement pyramidal sur support rigide

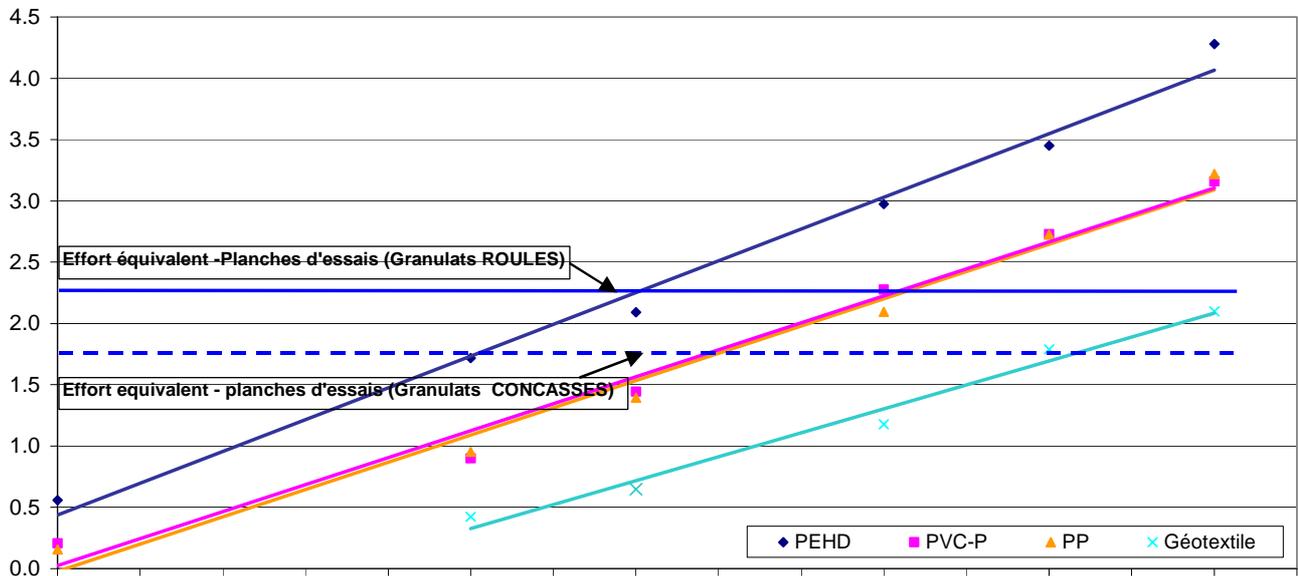


Figure 12. Essai de poinçonnement pyramidal sur support rigide (EN 14 574)

Les résultats des deux essais de laboratoire de poinçonnement montrent également qu'il existe une relative bonne corrélation entre les deux types d'essais (figure 13).

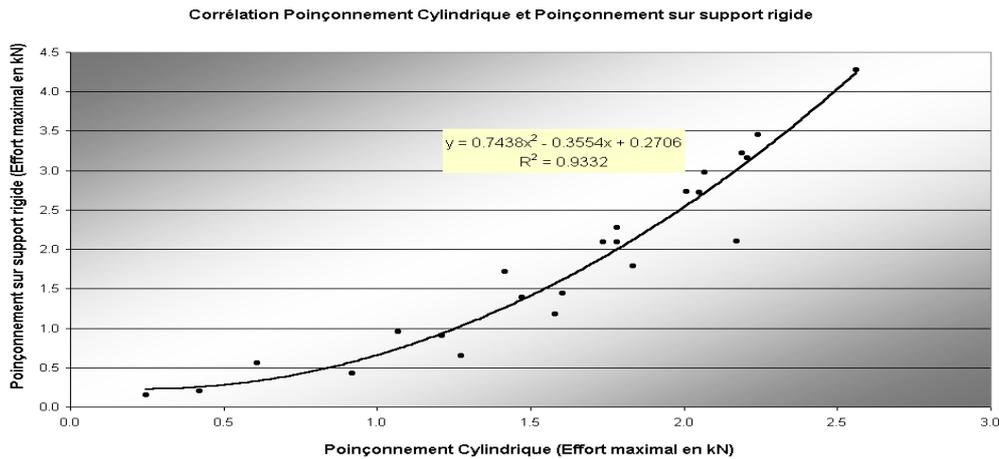


Figure 13 – Corrélation entre les deux essais de poinçonnement

Les essais de poinçonnement hydrostatique à la cellule de 650 mm de diamètre sur les différents DEG n'ont pas permis d'approcher les observations en place malgré les efforts appliqués allant jusqu'à 40 MPa.

Les résultats des essais de poinçonnement par poinçon montrent que, à la rupture, ces essais restent pratiques pour établir les spécifications à l'état ultime.

6. Conclusion

L'étude réalisée montre que, dans les conditions des essais réalisés, la protection géotextile mise en œuvre jusqu'à 700 g/m² s'est révélée dans la plupart des cas insuffisante. L'étude conduite montre que la réalisation des planches d'essais d'endommagement dans les conditions réelles de matériaux et du chantier reste nécessaire mais les constatations visuelles seules ne sont pas suffisantes pour évaluer l'état réel d'endommagement de la géomembrane. Cette étude a permis de proposer un outil performant de relevé par lecture laser et analyse automatisée des endommagements et un critère d'évaluation de l'état d'endommagement de la géomembrane à l'essai d'éclatement dans une cellule de 650 mm de diamètre. Les essais de poinçonnement par poinçon avec calage en niveau d'effort de sollicitation bien que ne permettant pas le dimensionnement du DEG restent relativement pratiques pour spécifier la protection du DEG à l'état ultime. Les résultats de la 2^{ème} série de 40 planches d'essais prenant en compte l'épaisseur de la géomembrane et mettant en œuvre des protections géotextiles allant jusqu'à 1200 g/m² sont en cours d'analyse et devraient permettre de mieux préciser les résultats présentés.

7. Références bibliographiques

- Comité Français des Géosynthétiques (2001) – Groupe de travail Poinçonnement : Projet de Guide pour la réalisation de planches d'essais sur DEG
- Bouazza A., Zornberg J.G., Adam D. (2002) Geosynthetics in waste containment facilities : recent advances. *Proc. 7th Int. Conf. on Geosynthetics 2*, 445-507
- SETRA – LCPC (2000) L'étanchéité par géomembranes des ouvrages pour eaux de ruissellement routier – Guide technique.