

RETOUR D'EXPERIENCE DE L'UTILISATION D'UNE GEOMEMBRANE EPDM POUR LA COUVERTURE D'UNE ISDND 12 ANS APRES SON INSTALLATION

FEEDBACK ON THE USE OF AN EPDM GEOMEMBRANE TO COVER A LANDFILL 12 YEARS AFTER ITS INSTALLATION

Bernat AMAT¹, Guillaume STOLTZ², Didier CROISSANT², Nathalie TOUZE-FOLTZ²

1 : Firestone Building Products, Zaventem, Belgique

2 : Irstea centre d'Antony, 1 rue Pierre Gilles de Gennes, Antony, France

RÉSUMÉ – Cette étude porte sur le retour d'expérience d'une géomembrane en caoutchouc synthétique EPDM (éthylène-propylène-diène terpolymère) qui a été posée il y a 12 ans en couverture de l'installation de stockage de déchets non dangereux (ISDnD) de Lann Hir, situé sur la commune de Pont Scorff. Une visite d'inspection a été menée pour évaluer l'état de la géomembrane et des détails de connexion avec les éléments rigides. Une partie du sol de couverture a été retirée pour réaliser une observation visuelle et prélever des échantillons de géomembrane qui ont été soumis à analyse. La publication présente l'ISDnD de Lann Hir, les spécificités d'installation d'une couverture d'ISDnD par géomembrane EPDM et les résultats des analyses montrant que, douze ans après son installation, les caractéristiques mécaniques de la géomembrane EPDM et de ses joints n'ont pratiquement pas varié.
Mots-clés : géomembrane, EPDM, durabilité, ISDnD, couverture

ABSTRACT – This study concerns the feedback of a synthetic rubber geomembrane EPDM that was installed 12 years ago for the landfill cell cover of Lann Hir. An inspection visit has been organized to assess the condition of the geomembrane and sealing details. Part of the covering soil has been removed to allow visual inspection and take samples of the geomembrane that were subjected to analysis. The publication presents the Lann Hir landfill, the specificities of installing an EPDM geomembrane landfill cover and the test results of the showing that twelve years after its installation, the mechanical characteristics of the EPDM geomembrane and its seams are nearly unchanged.
Keywords: geomembrane, EPDM, durability, landfill cover

1. Introduction

L'utilisation de géomembranes en fond et en couverture d'installation de stockage de déchets non dangereux (ISDnD) est une pratique très courante. La durée de suivi d'un casier d'ISDnD fermé, de l'ordre de trois décennies, pose la question de la durabilité des matériaux composant « l'enveloppe » du casier, notamment les géomembranes. La présente étude porte sur l'analyse d'une géomembrane EPDM installée il y a 12 ans pour couvrir l'ISDnD de Lann Hir situé sur la commune de Pont Scorff.

Les géomembranes EPDM (Éthylène-Propylène-Diène terpolymère) sont des géomembranes en caoutchouc synthétique vulcanisé. Leur structure polymérique hautement réticulée (chaînes carbonées liées entre elles par des ponts sulfure) leur confère une grande flexibilité et élasticité (> 300 % d'élongation). Les massifs de déchets présentant généralement des tassements de grandes amplitudes, d'ordre métrique (Olivier, 2003), les propriétés de flexibilité des géomembranes EPDM peuvent être appréciées pour l'utilisation en couverture d'ISDnD.

Deux études portant sur le retour d'expérience de l'utilisation de ce type de géomembrane en conditions exposées pour des ouvrages hydrauliques sont disponibles (Blanco et al., 2011 et 2013). L'étude de Blanco et al. (2011) conclut que les caractéristiques mécaniques (résistance à la traction, résistance au poinçonnement statique) ont très peu varié dans le temps (12 ans de mise en service). Une diminution de l'allongement à la rupture en traction, est cependant observée. Selon Blanco et al. (2011), ce constat peut s'expliquer par la vulcanisation du polymère.

L'étude de la géomembrane EPDM installée sur l'ISDnD du site de Lann Hir s'est déroulée en plusieurs étapes. Après inspection visuelle de l'état du système de couverture et de ses détails, des échantillons ont été prélevés et portés au laboratoire pour analyse. Les caractéristiques en traction mesurées sur les échantillons prélevés ont été comparées à celles mesurées sur des échantillons vierges il y a 12 ans. Les résultats obtenus permettent ainsi d'estimer le maintien des performances mécaniques de la géomembrane EPDM après 12 années de service.

2. Présentation de l'ISDnD de Lann Hir

L'ISDnD de Lann Hir situé sur la commune de Pont Scorff (Morbihan (56), Bretagne) est un site d'environ 20 ha autorisé depuis 1979 et aujourd'hui en post-exploitation. En 1999 l'exploitant, propriétaire des terrains et maître d'ouvrage, la société GEVAL, filiale du groupe VEOLIA Propreté, a décidé qu'une zone de 7 ha qui avait été exploitée entre 1992 et 1996 ferait l'objet d'un réaménagement afin de réduire la quantité de lixiviats produite dans ces anciens casiers d'exploitation (Figure 1).

Cet apport important de lixiviats provenait de la faible pente de la couverture semi-perméable des casiers et de désordres localisés causés par des tassements différentiels du massif de déchets.

Le réaménagement a consisté à profiler le terrain pour apporter une pente générale de plus de 3%, à installer un complexe d'étanchéité de 70.000 m², de mettre en place un réseau de dégazage et de pompage des lixiviats et pour finir, de recouvrir le tout d'une couche d'argile et de terre végétale.

Le maître d'ouvrage souhaitait que ce lieu retrouve sa vocation forestière (Figure 2). Le cahier des charges prévoyait la compatibilité du complexe d'étanchéité avec un panel d'arbres au système racinaire adapté. Une piste d'accès a été créée au-dessus de l'étanchéité et l'ensemble des fossés (1500 m) de cette couverture sont étanchés avec des géomembranes en EPDM (Figure 3).

La conception des travaux a été confiée au bureau d'étude SICAA Études, la réalisation des travaux de terrassement à la société SOTRAMA, les travaux d'étanchéité à la société SODAF Géo Etanchéité.

Le choix du Maître d'Ouvrage d'une géomembrane en EPDM était un choix innovant pour l'époque car il s'agissait de la première utilisation d'une géomembrane EPDM sur une ISDnD en France pour le maître d'ouvrage et le producteur de la géomembrane. Ce choix s'explique par l'anticipation de tassements importants des déchets dont le taux de consolidation lui était inconnu et de l'assurance fournie par Firestone que la géomembrane EPDM était compatible avec le type de racines prévues.

Les travaux se sont déroulés en neuf tranches de 2000 à 2008.



Figure 1. Vue aérienne de l'ISDnD de Lann Hir



Figure 2. État actuel de l'ISDnD de Lann Hir



Figure 3. Fossé périphérique en pied de dôme réalisé en géomembrane EPDM

3. Caractéristiques de la couverture et détails d'installation

3.1. Description de la couverture de l'ISDnD de Lann Hir

Pour diminuer la quantité de lixiviats générés par les casiers de l'ISDnD de Lann Hir, il a été décidé de mettre en place une couverture étanche pour éviter les infiltrations d'eaux pluviales dans les déchets. De plus, la couverture étanche permet de mieux collecter les biogaz par le réseau de collecte et ainsi d'éviter leur diffusion dans l'atmosphère.

La coupe de la figure 4 présente le système de couverture installé sur l'ISDnD de Lann Hir. Du bas vers le haut, on note les éléments suivants :

- les déchets ménagers ;
- une couche de reprofilage destinée à niveler et régulariser le support et faciliter l'installation de la couverture (Figure 5) ;
- un réseau de drainage des gaz connecté aux puits de dégazage. Le géocomposite drainant est constitué d'un géotextile de filtration sur la face inférieure et d'une âme drainante en face supérieure (Figure 5) ;
- un géotextile de protection de 300 g/m² en fibres recyclées, thermolié ;
- la géomembrane en EPDM de 1,1 mm d'épaisseur certifiée Asqual (Figure 6) ;
- un géotextile de protection de 300 g/m² en fibres recyclées, thermolié (Figure 7) ;
- une couche de sol protectrice de 0,45m d'épaisseur constituée de sol argileux (Figure 8) ;
- 0,4m de terre arable ayant pour but de favoriser la croissance végétale pour l'intégration paysagère et la protection contre l'érosion.

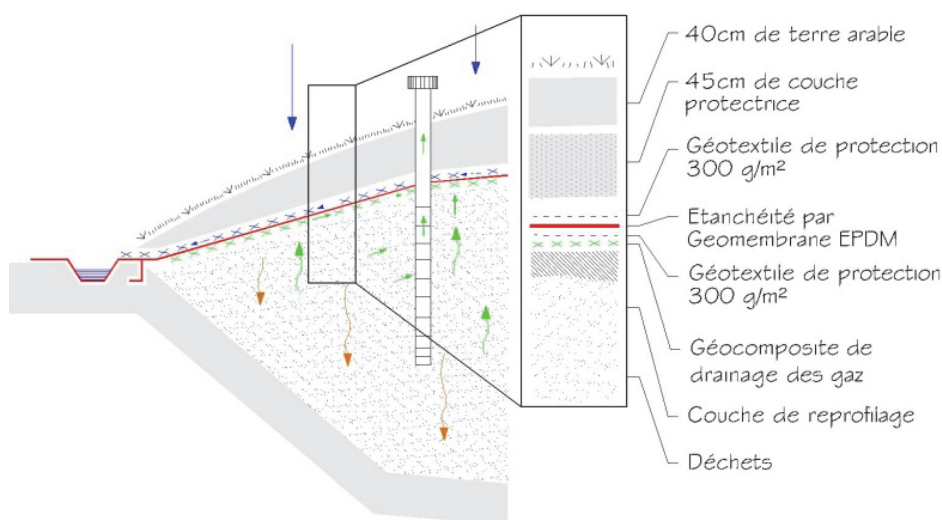


Figure 4. Schéma de principe de la couverture d'ISDnD installée à Lann Hir



Figure 5. Couche de reprofilage avant installation du DEG et géocomposite de drainage des gaz

3.2. Caractéristiques initiales de la géomembrane EPDM

L'épaisseur moyenne et les résistances à la traction pour les taux de déformations 15% et 250% d'une membrane neuve, mesurées entre 1999 et 2000 sur 5 échantillons dans le sens production et 5 échantillons dans le sens travers, sont donnés dans le tableau 1.

Tableau 1. Moyenne des caractéristiques de 5 géomembranes EDPM neuves mesurées entre 1999 et 2000

Caractéristiques	Normes	Valeurs	
		SP*	ST**
Épaisseur fonctionnelle (mm)	NF P84-515	1,13	
Traction			
• Résistance à 15% de déformation (kN/m)	NFP 501	0,75	0,72
• Résistance à 250% (kN/m)		6,43	5,88

Les normes NF P84-515 et NFP 501 ayant été remplacées respectivement par les normes EN 1849-2 et EN 12311-2, les caractéristiques d'épaisseur et de traction, mesurées selon les nouvelles normes sur un échantillon neuf en 2007, sont données dans le tableau 2.

Tableau 2. Caractéristiques d'une géomembrane EDPM neuve mesurée en 2007

Caractéristiques	Normes	Valeurs	
		SP*	ST**
Épaisseur fonctionnelle (mm)	EN 1849-2	1,09	
Traction			
• Résistance à 15% de déformation (kN/m)	EN 12311-2	0,84	0,77
• Résistance à 250% (kN/m)		6,86	6,39

3.3. Géomembrane EPDM installée sur le site de Lann Hir

Entre 2000 et 2008, 70.000 m² de géomembrane EPDM ont été installés en neuf phases (de 4.000 m² à 10.000 m²). Les géomembranes utilisées avaient majoritairement des dimensions de 15,25 m x 61 m ou de 30 m x 61 m lorsqu'elles étaient préalablement assemblées en atelier. L'équipe d'installation était constituée de 10 personnes (2 soudeurs certifiés Asqual et 8 manœuvres) et avait un rythme de pose de 10.000 m² par deux semaines (pose du géotextile de protection et réalisation des détails inclus).

Les différents panneaux ont été assemblés sur site à l'aide de bandes autoadhésives constituées de caoutchouc synthétique et d'un primaire constitué de solvants et d'EPDM (Figure). Les joints ont été systématiquement contrôlés visuellement, à la cloche à vide (points singuliers) et par essais destructifs (cisaillement, pelage). Il est également possible de tester les joints au tape dans leur longueur par le système de la lance à air (ASTM D 4437) qui consiste à projeter de l'air à haute pression sur le joint.

Pour le projet de Lann Hir plusieurs géomembranes ont été pré-assemblées en atelier jusqu'à atteindre des panneaux de 2.000 m². De ce fait, plus de la moitié des joints ont été réalisés dans des conditions idéales en matière de température, d'humidité et de qualité du support. La diminution du

nombre de joints à réaliser sur chantier réduit les risques liés à l'installation et la dépendance de la mise en œuvre aux conditions climatiques.



Figure 6. Installation de la géomembrane EPDM. Réalisation d'un joint à l'aide d'une bande autoadhésive



Figure 4. Installation du fossé périphérique et du géotextile de protection supérieur

3.4. Mise en place du sol de couverture

La mise en place du sol de couverture exige le respect de règles d'installation très strictes étant donné que des engins doivent circuler sur des zones qui sont déjà étanchées par la géomembrane.

Sur le site de Lann Hir, les camions étaient autorisés à circuler sur des rampes d'accès de 80 cm d'épaisseur. Le régalage des matériaux se faisait alors à partir de la rampe, à l'aide d'un engin monté sur chenille, autorisé à circuler sur une couche d'au moins 40 cm d'épaisseur.



Figure 5. Mise en œuvre du sol de couverture

3.5. Connexion de la géomembrane aux puits de collecte des biogaz

Compte-tenu du fait que les déchets ménagers sont composés en grande partie d'éléments biodégradables, même s'ils ont été compactés correctement en cours d'exploitation, il est inévitable de voir apparaître des tassements différentiels dans le temps. Ceci peut poser des problèmes au niveau de la connexion étanche entre la géomembrane et les puits de dégazage vu que ces derniers ne vont pas suivre les mêmes mouvements que les déchets.

Afin que ce détail ne rentre pas en tension dans le temps, au risque de compromettre l'étanchéité, la flexibilité des géomembranes EPDM permet la réalisation d'un « pli d'aisance » hors sol au niveau du puits de dégazage (Figures 9 et 10). Dès lors, lorsque le sol avoisinant le puits se tasse, l'excédent de géomembrane prévu au niveau du puits (0,6m sur Lann Hir) permet d'éviter que la géomembrane ne rentre en tension. L'avantage de ce détail est qu'il peut s'adapter à tout type de diamètre et que l'excédent de géomembrane peut être ajusté aux tassements différentiels estimés.

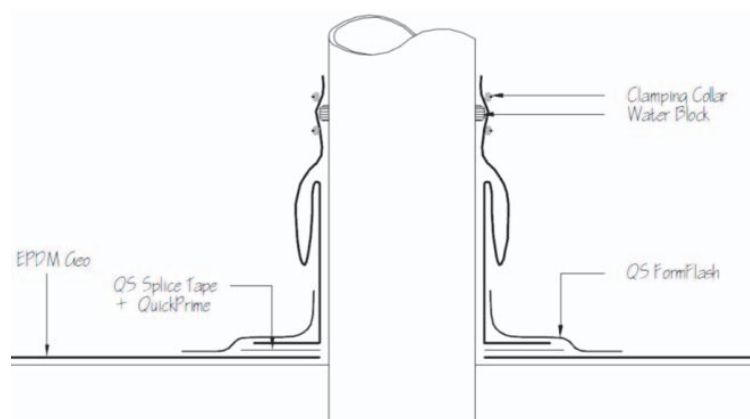


Figure 6. Schéma de principe du « pli d'aisance » au niveau des puits de collecte des biogaz



Figure 10. Puits de dégazage avant et après la réalisation du pli d'aisance

4. Prélèvements des échantillons et premières observations

4.1. Technique de prélèvement

Le 14 juin 2012, soit 12 ans après son installation, deux prélèvements de géomembrane ont été réalisés sur la première cellule recouverte d'une géomembrane EPDM en 2000. Le premier prélèvement a été fait au sommet du dôme et le deuxième en pied de talus, au niveau d'un joint.

Dans un premier temps le sol de couverture a été excavé à l'aide d'une mini pelle (Figure 11). Les derniers centimètres ont été dégagés à l'aide d'une pelle à main de sorte à ne pas endommager le DEG.

Les échantillons d'une dimension d'environ 1,0 m x 1,0 m ont été découpés à l'aide de ciseaux (Figure 12).



Figure 11. Début de l'excavation pour prélever les échantillons



Figure 12. Prélèvement des échantillons de géomembrane EPDM

4.2. Réalisation des réparations

Après réalisation de l'échantillonnage, la zone de prélèvement a été réparée par un soudeur certifié Asqual. La géomembrane existante a soigneusement été nettoyée à l'aide d'un solvant à base de naphta (Figure 13). Une nouvelle pièce d'EPDM a été coupée à dimension et assemblée à la géomembrane en place à l'aide d'une bande autoadhésive (Figure 13).

De nouvelles pièces de géotextile de protection ont été placées dessous et au-dessus de la géomembrane. Au final, le sol de couverture a été remis en place.



Figure 7. Nettoyage et réparation de la géomembrane EPDM

4.3. Observations réalisées lors des prélèvements

Les pièces de géomembrane prélevées ne présentaient ni défaut, ni perforation visible. Les géotextiles de protection (supérieurs et inférieurs) étaient également en très bon état de conservation. Il est à noter que le géotextile supérieur était fortement coloré (l'origine de la coloration n'a pas été déterminé) alors que le géotextile inférieur avait gardé sa couleur d'origine (Figure 14). Cette observation montre le rôle de la géomembrane qui prévient des infiltrations.



Figure 14. Géomembrane EPDM et différence de couleur entre le géotextile supérieur et inférieur

On a également pu observer que les épaisseurs du sol de couverture avaient bien été respectées (Figure 15). L'excavation a montré que les racines de la végétation plantée sur la couverture sont restées dans les 40 premiers centimètres de la terre arable (Figure 16).



Figure 15. Sommet du dôme – Coupe du sol de couverture et état du géotextile supérieur de protection



Figure 16. Pied du dôme – Localisation de la zone racinaire

Le géocomposite de drainage des gaz situé sous la géomembrane et le géotextile de protection inférieur étaient encore en très bon état. Il n'a pas été observé de colmatage de la zone drainante.



Figure 17. Géotextile de protection et géocomposite drainant des gaz placés sous la géomembrane

Le pied d'un puits de collecte de biogaz a également été dégagé de manière à visualiser l'état de conservation du détail. Le choix s'est porté sur un puits où le pli d'aisance s'était fortement déplié, signe d'un tassement différentiel important dans cette zone.

L'observation visuelle montre que la connexion entre le puits et la géomembrane n'a pas souffert du tassement différentiel (Figure 18). Visuellement, la géomembrane ne s'est pas mise en tension et il reste encore une quantité significative de géomembrane excédentaire pour pallier les tassements ultérieurs potentiels.



Figure 18. Puits de dégazage – vérification du détail de connexion

5. Analyses réalisées sur les échantillons et discussion des résultats

Les analyses réalisées sur les échantillons prélevés sont reprises dans le tableau 3. Le type d'analyses a été choisi de manière à pouvoir comparer l'état de la géomembrane 12 ans après son installation avec les valeurs du tableau 1, mesurées il y a 12 ans. Il faut noter que ces essais n'ont pas été effectués dans le même laboratoire, ce qui peut impliquer des variations.

Notons également que les essais de traction selon la norme EN 12311-2 et de poinçonnement statique selon les normes NF P 84-507 et EN ISO 12236, n'ont pas pu être réalisés sur l'échantillon prélevé au niveau du pied du dôme par manque de matériau.

En comparant les valeurs des épaisseurs moyennes et les résistances à la traction pour les taux de déformations 15% et 250% données dans les tableaux 1 et 3, une très faible modification de ces caractéristiques est observée après 12 ans. Les faibles augmentations des valeurs peuvent être attribuées à une légère rigidification de la géomembrane suite à la continuation de la réticulation des chaînes carbonées qui induisent une diminution de la mobilité moléculaire. Les conditions environnementales et de site n'ont donc pas eu d'impact significatif sur les propriétés mécaniques de la

géomembrane. Notons que cette comparaison est réalisée à partir de valeurs mesurées suivant des normes qui ont été remplacées, ce qui peut introduire un très léger biais. Le tableau 2 montre que ce biais n'est pas significatif.

À titre de comparaison, en conditions exposées, l'évolution dans le temps des propriétés mécaniques des matériaux thermostables se caractérise essentiellement par une diminution de l'allongement à la rupture suite à l'augmentation du nombre de liaisons entre les chaînes carbonées (Blanco et al., 2013). Dans le cas de la retenue d'eau d'El Golfo située dans les îles Canaries (Blanco et al., 2011), après 12 années d'exposition à des conditions climatiques exigeantes (température, UV), l'allongement élastique de la géomembrane EPDM se situait entre 320 et 360 %. En conditions couvertes, les échantillons prélevés sur Lann Hir 12 années après leur installation ont des valeurs d'allongement à la rupture entre 450 et 510%. Cette différence s'explique vraisemblablement par le fait que la température moyenne annuelle de la géomembrane est plus faible en conditions non exposées, la température étant un facteur accélérateur dans le processus de vieillissement des géomembranes. On peut donc déduire une augmentation de la durabilité des géomembranes EPDM en conditions couvertes par rapport à des conditions exposées.

Les propriétés mécaniques du joint testé montrent qu'il est en très bon état. Les valeurs de résistance en pelage et cisaillement sont en effet relativement élevées pour des joints EPDM réalisés avec bande autoadhésive et primaire.

Tableau 3. Résultats d'analyses réalisées sur les échantillons 12 ans après leur installation

Caractéristiques	Normes	Valeur déclarée	Sommet du dôme		Pied du dôme	
			SP*	ST**	SP*	ST**
Épaisseur fonctionnelle (mm)	EN 1849-2	1,1	1,14			
Masse surfacique (g/m ²)	EN 1849-2	1288	1321			
Traction						
• Résistance à 15% de déformation (kN/m)	EN 12311-2	0,7 5	0,92	0,85		
• Résistance à 250% (kN/m)			6,96	6,39		
Résistance à la rupture (N/mm ²)	EN ISO 527	9	10,6	10,0	11,2	10,0
Déformation à la rupture (%)	EN ISO 527	≥ 300	452	454	512	457
Poinçonnement statique						
• Résistance (N)	NF P 84-507	115 33	142,7			
• Déplacement (mm)			35,44			
Poinçonnement statique (CBR) – (kN)	EN ISO 12236	0,7	> 0,7***			
Pliabilité à basse température (°C)	EN 495-5	≤ -45	≤ -45		≤ -45	
Shore A – dureté (unités Shore A)	ISO 7619:2011		64		67	
Résistance des joints au cisaillement (N/50mm)	EN 12317-2				325	
Résistance des joints au pelage (N/50mm)	EN 12316-2				88	

* sens production

** sens travers

*** l'équipement est arrivé à son déplacement maximum sans atteindre la rupture (> 151 mm)

6. Conclusions

Cette étude portait sur la caractérisation de l'état d'une géomembrane EPDM utilisée en couverture d'ISDnD après 12 ans de service. La démarche a consisté à réaliser des prélèvements sur site tout en recueillant le maximum d'observations visuelles de l'état de la couverture. Les prélèvements effectués ont montré un bon état général de l'ensemble du DEG constituant la couverture. Les essais ont montré que les caractéristiques mécaniques (résistances à la traction pour les taux de déformation de 15% et 250%) sont restées stables après 12 années de service. Cette étude apporte ainsi quelques éléments concernant la durabilité des performances mécaniques d'une géomembrane EPDM en conditions non exposées. Des études complémentaires seraient utiles pour juger de l'évolution de ses propriétés hydrauliques, chimiques et physico-chimiques dans le temps.

7. Référence bibliographiques

- ASTM D 4437 (2012). Standard practice for non-destructive testing (NDT) for determining the integrity of seams used in joining flexible polymeric sheet geomembranes. Vol 4,13.
- AFNOR (2001). NF EN 495-5. Feuilles souples d'étanchéité Détermination de la pliability à basse température Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- AFNOR (2012). NF EN ISO 527. Plastiques Détermination des propriétés en traction. Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- AFNOR (2001). NF EN 1107-2. Feuilles souples d'étanchéité Détermination de la stabilité dimensionnelle. Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- AFNOR (2010). NF EN 1849-2. Feuilles souples d'étanchéité Détermination de l'épaisseur et de la masse surfacique. Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- AFNOR (2006). NF EN ISO 12236. Essai de poinçonnement statique (essai CBR). Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- AFNOR (2010). NF EN 12311-2. Feuilles souples d'étanchéité - Détermination des propriétés en traction - Partie 2 : feuilles d'étanchéité de toiture plastiques et élastomères. Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- AFNOR (2000). NF EN 12316-2. Feuilles souples d'étanchéité - Détermination de la résistance au pelage des joints - Partie 2 : feuilles d'étanchéité de toiture plastiques et élastomères. Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- AFNOR (2010). NF EN 12317-2. Feuilles souples d'étanchéité - Détermination de la résistance au cisaillement des joints - Partie 2 : feuilles d'étanchéité de toiture plastiques et élastomères. Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- AFNOR (2010). NF ISO 7619-1 Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique - Détermination de la dureté par pénétration - Partie 1 : méthode au duromètre (dureté Shore). Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- AFNOR (2000). NF EN 12316-2. Feuilles souples d'étanchéité - Détermination de la résistance au pelage des joints - Partie 2 : feuilles d'étanchéité de toiture plastiques et élastomères. Comité européen de normalisation, Bruxelles.
- AFNOR (1996). NF P 84-507. 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. BNSR/GTX-GMB.
- AFNOR (1998). NF P 84-515. Mesure du niveau d'étanchéité conventionnel des géomembranes. BNSR/GTX-GMB.
- AFNOR (1992). NF P 501. Géomembranes-Dispositif d'étanchéité par géomembranes (DEG) Détermination des caractéristiques en traction. BNSR GMB.
- Blanco M., Aguiar E., García F., Vara T., Soriano J., Castillo F. (2011). État de la géomembrane en EPDM de la retenue d' "El Golfo" dans l'île d'El Hierro (Îles Canaries). *Actes, 8^{ème} Rencontres Géosynthétiques 283-293. Tours.*
- Blanco M., Touze-Foltz N., Amat B., Castillo F., Aguiar E. (2013). Comportement d'une géomembrane EPDM 18 ans après son installation dans la retenue d'El Boqueron (Tenerife, Espagne). *Actes, 9^{èmes} Rencontres Géosynthétiques. Dijon.*
- Frobel R., Gilligan T., Kalbas J. (1999). *EPDM geomembrane caps commercial landfill. First United States permitted landfill using EPDM proves successful.* GFR magazine, volume 17, number 8.
- Olivier F. (2003). Tassements des déchets en CSD de classe II : du site au modèle, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier de Grenoble, 305 pages.