

## Vers une durabilité accrue des géomembranes bitumineuses

Depuis une trentaine d'années, les géomembranes sont largement employées dans les ouvrages hydrauliques, notamment pour assurer leur étanchéité. Dans un souci de préservation de l'environnement, il est donc essentiel de mieux connaître la durabilité de ces produits, afin d'optimiser leur conception et leur utilisation. Ici, il est question d'évaluer la performance de deux familles de géomembranes bitumineuses, l'une en bitume élastomère et l'autre en bitume oxydé, installées dans le même bassin depuis quinze ans. Les résultats permettront de fournir des préconisations d'utilisation essentielles pour les producteurs et les exploitants d'ouvrages.



Les géosynthétiques ont été largement utilisés ces trente dernières années dans de nombreuses applications hydrauliques et environnementales. Différents enseignements ont pu être tirés de l'expérience relativement aux différentes structures

concernées aux différents stades de conception et de réalisation : dimensionnement, phases de tests préliminaires, construction, contrôle. Heibaum *et al.* (2006) indiquent que la plus grande diversité d'utilisation des géosynthétiques est réalisée dans les ouvrages hydrauliques. Ces auteurs indiquent également que la durabilité des géomembranes dans les ouvrages hydrauliques peut atteindre vingt à trente ans, voire plus pour des géomembranes exposées, pour autant que leur formulation soit adaptée. Pour autant, ces durées de vie proviennent d'études dont le nombre est extrêmement limité (moins de dix) pour des durées de vie de cet ordre. Il faut aussi que le dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG) dans son ensemble ait été bien conçu, construit et contrôlé. La durée de vie attendue des géomembranes recouvertes, qui sont ainsi protégées des conditions climatiques et des agressions mécaniques est significativement plus longue, toujours d'après ces auteurs.

Cette question de la durabilité des géomembranes dans les ouvrages hydrauliques est une question récurrente, à

laquelle on ne sait pas toujours bien répondre, faute de retours d'expérience suffisants. La question de la protection de l'environnement n'est pas prégnante dans ces ouvrages car ils ne contiennent que de l'eau. Il n'y a donc pas de risque de pollution des sols et des aquifères environnants en cas de rupture de l'étanchéité. Pour autant, la rupture de l'étanchéité aura pour l'exploitant de l'ouvrage une répercussion financière : impossibilité d'utiliser l'ouvrage pendant le temps nécessaire à la réalisation d'une expertise, d'études et de la réfection.

Ces différentes étapes d'analyse de la situation et de reconstruction de l'ouvrage vont également induire des dépenses pour l'exploitant. La question de la durée de vie de la géomembrane, au-delà de la période de garantie décennale, est donc essentielle.

Les retours d'expérience acquis sont aussi essentiels pour les producteurs de géomembranes. Les analyses réalisées par des laboratoires de recherche et d'essais qui leur sont transmises vont leur permettre de connaître l'évolution de leurs produits et en retour d'améliorer les processus de fabrication pour obtenir des géomembranes toujours plus performantes.

Les retours donnés par les laboratoires sur les conditions d'utilisation optimales sont également essentiels pour optimiser les conditions d'utilisation des géomembranes.

## 1 GLOSSAIRE

Le terme **géosynthétique** est un terme générique désignant un produit, dont au moins l'un des constituants est à base de polymère synthétique ou naturel, se présentant sous forme de nappe, de bande ou de structure tridimensionnelle, utilisé en contact avec le sol ou avec d'autres matériaux, dans le domaine de la géotechnique et du génie civil.

Un **géotextile** est une matière textile plane, perméable et à base de polymère (naturel ou synthétique) pouvant être non tissée, tricotée ou tissée, utilisée en contact avec le sol ou avec d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil.

Une **géomembrane** est un produit manufacturé adapté au génie civil, d'une largeur de 1,5 m minimale, mince, souple, continu, étanche aux fluides à la sortie de la chaîne de fabrication, d'épaisseur effective de 1 mm minimum sur toute la surface du lé et soudable en continu, quelles que soient les faces des lés en contact, par soudure thermique, par vulcanisation ou par bandes adhésives autocollantes selon la nature du produit.

L'unique fonction d'une géomembrane est d'assurer l'étanchéité de l'ouvrage dans lequel elle est installée.

Pour les laboratoires, l'accès à ces connaissances ne peut se faire que s'ils disposent d'un accès aux ouvrages comportant des géomembranes installées depuis un temps suffisamment long, au moins une dizaine d'années.

La quantification de la durabilité des géosynthétiques ne peut donc s'opérer qu'au travers des collaborations entre les industriels, les exploitants de sites et les laboratoires de recherche et d'essais.

Cet article s'intéresse plus particulièrement à la durabilité des géomembranes bitumineuses. À ce jour, c'est seulement le second article sur cette thématique. Même si des résultats ont donc déjà été publiés une fois, relativement à la durabilité des géomembranes en bitume oxydé, il est important de les valider par des études complémentaires. On ne peut en effet se satisfaire d'un seul retour d'expérience. La littérature met en effet souvent en évidence des résultats contradictoires, dans des études complémentaires. Cet article fait tout d'abord le point sur ce que sont ces géomembranes. On verra qu'il en existe de deux types, en lien avec le liant qui les constitue. Celui-ci va affecter leur performance. Des observations visuelles, des mesures de flux ainsi que de la chromatographie d'exclusion stérique ont été effectuées sur les géomembranes de manière à quantifier leur évolution après quinze ans d'exposition dans un même bassin. Ces tests permettent de mettre en évidence l'effet des conditions d'exposition sur la durabilité des géomembranes et de donner non seulement un retour en ce qui concerne leur évolution, mais également des préconisations en matière d'utilisation de ces géomembranes bitumineuses. Ces informations sont essentielles pour les producteurs et les exploitants d'ouvrages et doivent être considérées au moment de leur conception pour s'assurer d'une optimisation de la durée de vie de l'ouvrage.

Si l'utilisation des géomembranes en bitume oxydé se réduit en France car certaines recommandations ou réglementations interdisent son usage, il n'en va pas de même dans d'autres pays du monde où les exigences peuvent être différentes, et la connaissance de ces géomembranes bien moins bonne car elles y sont d'utilisation plus récente. Il est donc essentiel de prévoir une surveillance de ces matériaux pour connaître leur évolution dans le temps, car leur usage dans des conditions défavorables pourrait engendrer des risques. C'est donc l'intérêt de cet article de présenter des données existantes afin de permettre à l'utilisateur quel qu'il soit de se protéger de mauvaises utilisations.

## 2 LES GÉOMEMBRANES BITUMINEUSES

Les géomembranes bitumineuses sont des matériaux composites. Elles sont constituées de l'association d'un liant bitumineux étanche et d'un renforcement ainsi que d'un traitement sur les deux faces.

Le renforcement peut être de trois types : un voile de verre, un géotextile non tissé aiguilleté en polyester, un composite associant voile de verre et polyester.

Le rôle du renforcement est de reprendre les contraintes mécaniques qui sont imposés à la géomembrane pendant son installation, ou pendant la phase où l'ouvrage est en service. Le renforcement va conférer à la géomembrane sa performance en traction, au poinçonnement statique, dynamique et à la déchirure. Ces éléments suivent deux traitements en général lors de la fabrication des géomembranes bitumineuses : le premier est l'imprégnation du renforcement par un liant bitumineux, oxydé ou élastomère.

L'imprégnation consiste à saturer le cœur de l'armature, dans le but de remplir les vides pour enlever l'air et l'humidité résiduelle.

L'enduction consiste à ajouter une masse de bitume sous ou sur l'armature afin de donner à la géomembrane son épaisseur finale. Cette épaisseur assure une liaison au recouvrement des bandes. L'armature est nécessaire pour les phases de stockage, manutention et installation de la géomembrane.

L'ajout de sable et d'un film sur les faces de la géomembrane permet non seulement d'éviter que les spires attachent lors de l'enroulement de la géomembrane, mais permet également d'accroître l'angle de frottement (par l'intermédiaire d'une fine couche de sable) ou d'assurer une fonction anti-racinaire (par l'intermédiaire d'un film).

Le bitume est un matériau obtenu après double distillation (distillation à pression atmosphérique suivie d'une distillation sous vide) d'un pétrole brut lourd. Le bitume ainsi obtenu par distillation ne peut pas être directement utilisé pour produire des géomembranes car il est trop sensible à la température. Il est par conséquent nécessaire de réduire la sensibilité à la température en transformant le matériau de base pour assurer sa durabilité, soit en l'oxydant par insufflation d'air chaud (260 °C et 320 °C), soit en ajoutant des élastomères.

Les propriétés améliorées des bitumes élastomères peuvent évoluer tout au long de leur durée de vie (Lu et Isacsson, 1998). La connaissance de l'évolution de la structure chimique du liant bitumineux représente un moyen de caractériser son vieillissement en relation avec ses performances.



© M. Mendes (Arcadis)

### ▶ Caractéristiques des géomembranes bitumineuses étudiées

Le site de Bazancourt est une raffinerie de sucre située dans la Marne. Le bassin étudié est utilisé pour collecter des eaux de process issues de la raffinerie (photo ①). Une géomembrane en bitume oxydé a été utilisée pour étancher la première moitié du bassin, tandis qu'une géomembrane en bitume élastomère a été utilisée pour réaliser l'extension. L'étanchéité a été posée en 1997 pour ces deux parties. Les échantillons ont été prélevés en haut de la pente au-dessus de la zone de marnage, exposition sud, en août 2013.

Au cours des quinze dernières années, les températures extrêmes ont fluctué entre  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour les mois les plus froids et  $+39\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour les plus chauds, avec une température annuelle moyenne comprise entre  $+6,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  et  $+15,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Au cours des dix dernières années, la durée moyenne d'ensoleillement a varié entre 1 274 et 2 026 heures.

Une géomembrane en bitume oxydé et une géomembrane en bitume élastomère ont été utilisées afin d'assurer l'étanchéité du bassin.

Les photos ② et ③ montrent les aspects respectifs des états de surface des deux géomembranes au moment du prélèvement. On peut observer qu'à la surface de la géomembrane en bitume oxydé, le bitume d'enduction est rare et que l'on aperçoit la trame de l'armature imprégnée de bitume. On parlera ici de micro-fissuration. La surface de la géomembrane en bitume élastomère est différente. On aperçoit un faïençage superficiel qui reste limité à la surface du bitume d'enduction encore bien présent. Aucune micro-fissuration (fissure dans la masse de bitume qui pénètre jusqu'à l'armature) à la surface n'est visible pour cette géomembrane.

② Vue de la surface de la géomembrane en bitume oxydé.



© M. Mendes (Arcadis)

③ Vue de la surface de la géomembrane en bitume élastomère.



© M. Mendes (Arcadis)

### Des résultats en faveur la géomembrane en bitume élastomère

Une mesure du flux d'eau au travers des deux échantillons de géomembranes prélevés a été effectuée en modifiant la différence de pression hydraulique appliquée dans la norme NF EN 14150 et en la réduisant à 50 kPa. Cette adaptation a été motivée par le fait que l'on a déjà observé pour des géomembranes bitumineuses prélevées *in situ* qu'il n'était pas possible d'appliquer la charge hydraulique prescrite dans la norme, car elle donne lieu à des débits de fuite trop importants en lien avec le vieillissement possible de la géomembrane. La valeur finale du flux obtenue à l'équilibre sur sept jours est égale à  $1,9 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{j}$  pour la géomembrane en bitume élastomère. Elle est à peine supérieure aux valeurs obtenues pour des géomembranes vierges (inférieures à  $10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{j}$ ).

Dans le cas de la géomembrane en bitume oxydé, les flux mesurés sont respectivement égaux à  $4,65 \times 10^{-5}$  et  $4,49 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$  à l'amont et à l'aval de la géomembrane sous une différence de pression de 50 kPa. Les flux peuvent donc être considérés comme égaux. Ces valeurs sont cohérentes avec les valeurs de flux précédemment mesurées par Touze-Foltz *et al.* (2010) pour des géomembranes en bitume oxydé exposées. Cette seconde étude sur la durabilité des géomembranes bitumineuse confirme donc les résultats précédemment obtenus.

### 3 DES ESSAIS NORMALISÉS

Les géomembranes sont des milieux non poreux. Ceci signifie que ces matériaux ne contiennent pas de vides, mais seulement des espaces libres dont la taille est proche de celle des molécules de solvants. La loi de Darcy ne s'applique donc pas dans les géomembranes. On ne peut pas donner de coefficient de conductivité hydraulique pour caractériser ces matériaux, cela n'a pas de sens physique.

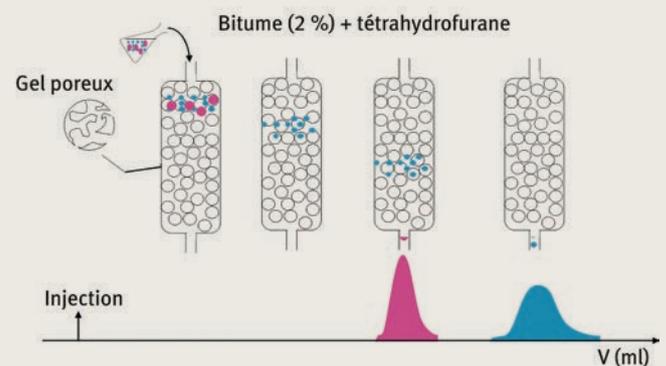
Un essai normalisé a été élaboré en France dans les années 1990 qui depuis est devenu l'essai européen décrit par la norme NF EN 14150 (Afnor, 2006). L'objectif de cet essai normalisé est de quantifier le flux d'eau traversant les géomembranes lorsqu'elles sont soumises à une différence de charge hydraulique.

Le dispositif expérimental et la procédure d'essai permettent des mesures de flux sous 100 kPa de différence de pression hydraulique aussi bas que  $10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{j}$ .

La norme NF P 84500 (Afnor, 2013) définit l'étanchéité comme le flux d'eau traversant une géomembrane en partie courante (hors joint) dans les conditions de mesure de la norme NF EN 14150 pendant sept jours sous une différence de pression de 100 kPa doit être inférieur à  $10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$ .

Il convient de rappeler que pour une différence de pression de 100 kPa, le flux traversant un mètre d'argile de conductivité hydraulique égale à  $10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  est environ cent fois supérieur à ce seuil.

#### 1 Principe de la chromatographie d'exclusion stérique.



Les flux sont donc d'un ordre de grandeur supérieur à ceux mesurés pour une géomembrane en bitume élastomère dans les conditions du site de Bazancourt.

La principale cause de vieillissement des liants bitumineux pendant le service est l'oxydation de certaines molécules et la dégradation du polymère. L'oxydation se traduit par la formation de molécules et d'associations moléculaires de grandes tailles. La dégradation du polymère quant à elle résulte de la coupure des chaînes de polymère qui conduit à la formation d'oligomères de tailles plus petites que celles des polymères. Ces modifications de tailles moléculaires sont facilement mises en évidence par chromatographie d'exclusion stérique (CES), technique qui permet de séparer les molécules d'un mélange en fonction de leur taille.

Des solutions bitumineuses de concentration 2 % (masse/volume) en GMB dans du tétrahydrofurane (THF) ont été analysées (figure 1). Pour les deux GMB, 0,1 g de bitume situé au cœur de la GMB (c'est-à-dire au contact de la trame polymérique) a été immergé dans 5 mL de THF. Les molécules les plus lourdes traversent plus rapidement les colonnes que les molécules les plus légères. Ainsi, les premiers pics apparaissant sur les chromatogrammes correspondent aux molécules les plus lourdes : le polymère, les produits de l'oxydation.

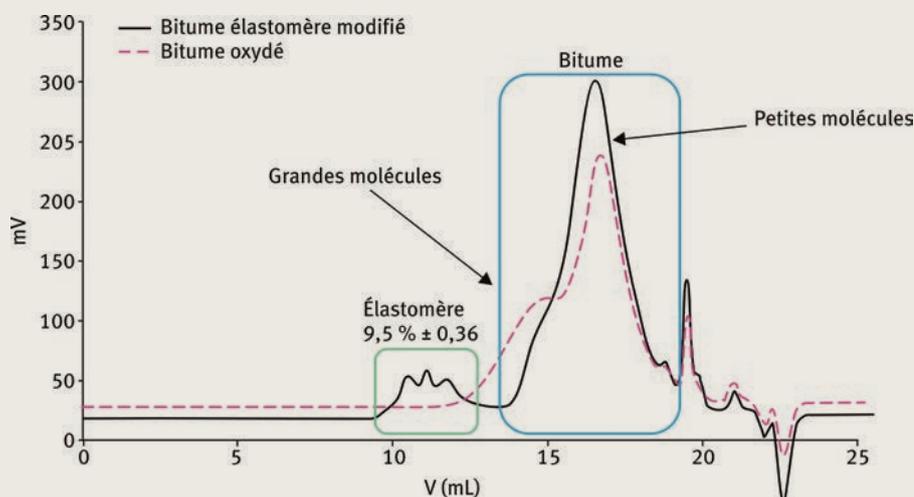
La figure 2 présente l'allure des chromatogrammes obtenus pour les deux géomembranes.

Les chromatogrammes des liants extraits des GMB permettent d'identifier le polymère par trois pics mal résolus à 10,4 mL, 11,0 mL et 11,5 mL. Le bitume oxydé élué entre 12,0 mL et 19,1 mL alors que le bitume du liant modifié par l'élastomère élué entre 13,5 mL et 19,1 mL. La largeur du chromatogramme du bitume oxydé accompagnée d'un épaulement important à 14,8 mL met en évidence la présence d'entités de grandes tailles.

La teneur en polymère, calculée en considérant le rapport de la surface du pic du polymère par rapport à la surface de la totalité du liant (bitume + polymère) est de  $9,5 \pm 0,36 \%$  après quinze ans d'utilisation.

Les chromatogrammes des liants extraits des géomembranes (figure 2) permettent d'identifier le polymère par trois pics mal résolus à 10,4 mL, 11,0 mL et 11,5 mL.

## ② Chromatogrammes des liants bitumineux extraits des GMB en bitumes polymère et oxydé.



Le bitume oxydé correspond au pic situé entre 12,0 mL et 19,1 mL alors que le bitume du liant modifié par l'élastomère est situé entre 13,5 mL et 19,1 mL. La largeur du chromatogramme du bitume oxydé accompagnée d'un épaulement important à 14,8 mL met en évidence la présence d'entités de grandes tailles, correspondant à une oxydation.

La teneur en polymère calculée est de 9,5 % environ après quinze ans d'utilisation.

La comparaison des chromatogrammes des bitumes représentés sur la figure ② montre bien l'absence de pic du polymère dans le bitume oxydé et les différences de structure chimique entre les deux types de liants bitumineux. L'épaulement à 14,8 mL est beaucoup plus important pour le bitume oxydé que pour le bitume polymère. Ceci s'explique par la présence de fonctions chimiques oxydées (majoritairement des carbonyles et des sulfoxydes) et de molécules de grandes tailles.

### Conclusion et perspectives

L'objectif de cet article était d'évaluer la performance de deux géomembranes bitumineuses de nature différente, un bitume oxydé et un bitume élastomère, installés dans le même bassin depuis quinze ans.

Bien que le coût des géomembranes ne soit que de quelques euros au mètre carré et que celui-ci ne représente que quelques pourcents du coût total de l'ouvrage, la pérennité de ces matériaux est essentielle pour que l'ouvrage puisse remplir sa fonction. Leur recouvrement, indispensable pour les géomembranes en bitume oxydé induit un surcoût.

Les différences de composition et de propriétés des bitumes oxydés et élastomères ont tout d'abord été exposées.

Les résultats obtenus, en termes d'état de surface, de mesure de flux et de chromatographie d'exclusion stérique ont ensuite été présentés.

La valeur de flux mesurée pour la géomembrane en bitume élastomère sous une différence de pression de

50 kPa est légèrement supérieure au seuil de mesurabilité donné dans la norme NF EN 14150 qui correspond aussi aux valeurs obtenues pour des géomembranes vierges ( $10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{j}$ ), avec une valeur de  $1,9 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{j}$ . Le flux mesuré pour la géomembrane en bitume oxydé est proche de  $4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{j}$ , soit un ordre de grandeur supérieur à la valeur obtenue pour la géomembrane en bitume élastomère.

Ce résultat a été expliqué par la différence d'état de surface des deux géomembranes et la fragilisation notée sur la géomembrane en bitume oxydé.

Le polymère actif est toujours présent dans la géomembrane en bitume élastomère après quinze ans de service. Les résultats obtenus dans cette étude relatifs au comportement de la géomembrane en bitume oxydé sont cohérents avec les résultats obtenus précédemment dans une seule autre étude et conduisent à la recommandation de ne pas laisser les géomembranes en bitume oxydé exposées sur site, alors que les géomembranes en bitume élastomère peuvent elles rester exposées.

Cette recommandation sera portée à la fois par le producteur, mais également par les laboratoires qui communiquent sur ce résultat. On ne devrait donc plus à l'avenir rencontrer de géomembranes en bitume oxydé exposées, car ce ne sont pas leurs conditions d'utilisation optimales. ■

### Les auteurs

#### Nathalie TOUZE-FOLTZ

Irstea – UR HBAN – Hydrosystèmes et bioprocédés  
1 rue Pierre-Gilles de Gennes  
CS 10030 – 92761 Antony Cedex – France

✉ [nathalie.touze@irstea.fr](mailto:nathalie.touze@irstea.fr)

#### Fabienne FARCAS

IFSTTAR  
14-20 Boulevard Newton  
Cité Descartes – Champs sur Marne  
77447 Marne la Vallée Cedex 2 – France

✉ [fabienne.farcas@ifsttar.fr](mailto:fabienne.farcas@ifsttar.fr)

## EN SAVOIR PLUS...

- ▣ **AFNOR**, 2006, EN 14150, Geosynthetic barriers — Determination of permeability to liquids.
- ▣ **AFNOR**, 2013, NF P 84-500, Géomembranes – Dictionnaire des termes relatifs aux géomembranes.
- ▣ **HEIBAUM, M., FOURIE, A., GIRARD, H., KARUNARATNE, G.P., LAFLEUR, J., PALMEIRA, E.M.**, 2006, Hydraulic applications of geosynthetics, *in: Proceedings 8<sup>th</sup> International Conference on Geosynthetics*, Yokohama, ISBN 90 5966 044 7, p. 79-120.
- ▣ **LU, X., ISACSSON, U.**, 1998, Chemical and rheological evaluation of ageing properties of SBS polymer modified bitumens, *Fuel*, 77 (9-10), p.961-972.
- ▣ **TOUZE-FOLTZ, N., CROISSANT, D., FARCAS, F., ROYET, P.**, 2010, Quantification of oxidized bituminous geomembranes ageing through hydraulic testing, *in: 9<sup>th</sup> International Conference on Geosynthetics*, Guarujá, Brazil, p.753-756.



Les géosynthétiques sont utilisés pour assurer l'étanchéité de certains ouvrages hydrauliques.