

Méthodes de détection et de localisation de défauts dans les géomembranes

Nathalie Touze-Foltz

La détection et la localisation de défauts dans les géomembranes sont des étapes incontournables pour confirmer l'efficacité des dispositifs d'étanchéités géosynthétiques, de plus en plus utilisés pour les ouvrages comme les barrages, digues, bassins de rétention, canaux, ouvrages souterrains, ouvrages de stockage d'effluents ou de déchets. L'auteur présente ici les différentes méthodes de détection et de localisation électriques et par ultrasons, en précisant les conditions d'application, les limites particulières d'utilisation, la facilité de mise en œuvre, les résultats obtenus ainsi que des informations sur la sensibilité de la méthode.

Dans un contexte d'utilisation de plus en plus prononcée des étanchéités par géomembranes en génie civil, la détection et la localisation de défauts dans les géomembranes s'avèrent devenir des étapes incontournables pour confirmer l'efficacité d'ouvrages hydrauliques comme les barrages et les digues, les bassins de rétention d'eau, les canaux, les ouvrages souterrains, et pour la protection de l'environnement, dans les ouvrages de stockage d'effluents industriels ou agricoles et les centres de stockage de déchets.

Les géomembranes n'ont aucune fonction de renforcement mécanique. Cependant, au sein d'un ouvrage elles peuvent être soumises à différentes sollicitations mécaniques susceptibles d'affecter leur fonction d'étanchéité. Ainsi, elles peuvent subir des tractions lors du tassement du sol support d'un ouvrage, en se rétractant, si la pose et l'ancrage de la géomembrane sont réalisés par temps chaud, si l'ancrage en tête de talus est mal réalisé, sous l'action de leur propre poids sur les grandes pentes ou encore sous le poids des matériaux qu'elles sont censées contenir, comme les déchets. Elles peuvent également être soumises au poinçonnement. La traction ou le poinçonnement peuvent conduire à la rupture de la continuité du matériau qui présente alors des endommagements. Les contraintes mécaniques ne sont pas les seules causes possibles de la présence de défauts. Les géomembranes peuvent également être soumises

à des contraintes physico-chimiques. Enfin des défauts peuvent également apparaître lors de la pose, par exemple lorsque les soudures entre lés ne sont pas effectuées correctement.

Il existe de nombreuses méthodes de détection de défauts dans les géomembranes. Elles peuvent être classées en deux catégories :

- Les méthodes locales, permettant de tester soit les soudures, soit des points singuliers, soit des points particuliers de la géomembrane pour lesquels on peut supposer l'existence de défauts ; elles sont utilisées pour des géomembranes exposées c'est-à-dire non recouvertes par quelque matériau que ce soit (géotextile, eau, sol...);
- Les méthodes globales, qui permettent de tester l'intégralité de la géomembrane, nappe et soudures, pour certaines lorsque la géomembrane est recouverte.

Parmi les méthodes locales, on peut citer l'inspection visuelle, qui est un préalable à l'utilisation de toute autre méthode, l'inspection à la pointe émoussée, différents tests basés sur l'utilisation de fluides (liquides ou gaz) comme la cloche à vide, la mise en pression du canal pour les doubles soudures, la lance à air et les ultrasons. Les méthodes électriques, la thermographie infrarouge, les traceurs gazeux constituent les principales méthodes globales.

L'objectif de cet article est d'informer sur les différentes méthodes de tests appliquées aux géo-

Contact

Nathalie Touze-Foltz
Cemagref
UR Ouvrages pour
le drainage
et l'étanchéité, BP 44,
92163 Antony Cedex

membranes existantes, et faisant appel aux principes électriques ou à l'utilisation d'ultrasons. Ce document est largement inspiré des réflexions menées au sein d'un groupe de travail du Comité Français des Géosynthétiques qui est en phase de rédaction d'un guide de synthèse sur ce sujet à paraître d'ici fin 2002.

Après une définition des défauts dans les géomembranes, nous présentons différents systèmes de détection de défauts ainsi que les contraintes afférentes à leur utilisation.

Nous souhaitons ainsi contribuer à faciliter le choix d'une méthode de détection de défauts en relation, en particulier, avec le degré de fiabilité de l'étanchéité, et avec le moment où la détection de défauts peut être effectuée par rapport au moment de la pose de la géomembrane. Sont également prises en compte l'évolution de l'ouvrage et les contraintes d'utilisation.

Qu'est-ce qu'un défaut ?

Le terme défaut est utilisé pour désigner une non-continuité de la géomembrane : un trou circulaire, un poinçonnement, une déchirure, une coupure, une soudure défectueuse, une fissure ou tout autre endommagement sur toute ou partie d'une géomembrane, pendant ou à l'issue de sa pose.

Un **défaut sans fuite** désigne :

- une non continuité dans la géomembrane qui ne génère pas de flux de liquide ou de gaz dans le cas où la géomembrane est sollicitée

hydrauliquement ou soumise à un gradient de pression entre ses deux faces. Typiquement, un tel défaut sans fuite correspond à une soudure défectueuse sur uniquement un des deux joints parallèles d'une double soudure (figure 1) ;

- une réduction d'épaisseur de la géomembrane causée par un écrasement ou un poinçonnement.

Un **défaut avec fuite** désigne quant à lui une non continuité de la géomembrane qui génère un flux de liquide ou de gaz lorsque la géomembrane est soumise à un gradient de pression entre ses deux faces.

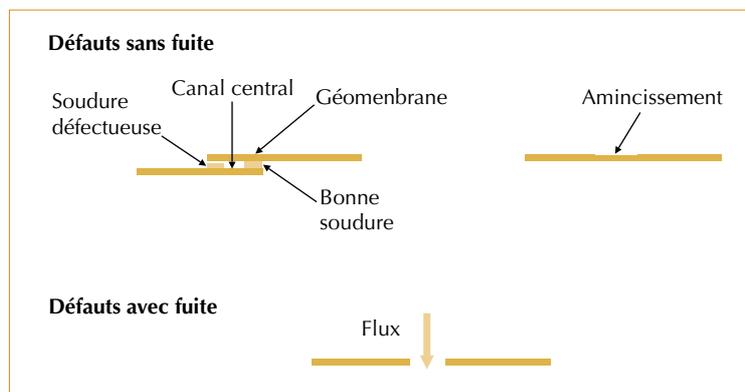
Les méthodes électriques et par ultrasons de détection et localisation des défauts

Pour chacun des dispositifs de détection décrits ci-après, la présentation s'articule autour des points suivants : principe de fonctionnement et calibration, conditions d'application, limites particulières d'utilisation, facilité de mise en œuvre, types d'informations et de résultats, sensibilité.

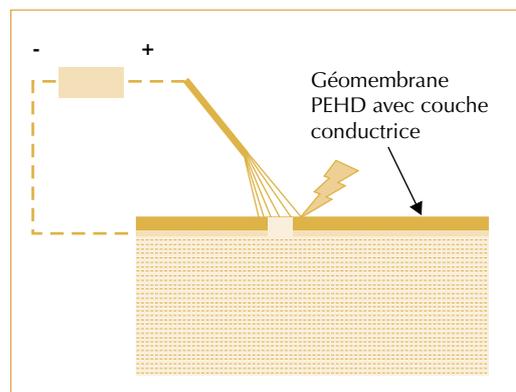
Méthodes électriques pour les géomembranes conductrices

On utilise des géomembranes polyéthylène haute densité (PEHD) conductrices. Cette méthode doit donc être intégrée à la conception de l'ouvrage dans la mesure où elle nécessite la mise en place d'une géomembrane conductrice. Les géomembranes conductrices comportent une couche supplémentaire coextrudée, d'environ 0,1 mm d'épaisseur, sur leur face inférieure. Cette couche est électriquement conductrice grâce à l'addition d'un fort taux de noir de carbone. Avant le démarrage de la prospection, la couche conductrice est chargée par induction par une unité de tension (15 à 30 kV) comme indiqué à la figure 2. La face supérieure, non conductrice, est alors prospectée à l'aide

▼ Figure 1 – Exemples de défauts sans fuite et avec fuite.



▼ Figure 2 – Schéma de principe de la méthode géomembrane conductrice.



d'un balai électrique. Tout défaut de la géomembrane génère une étincelle visible ainsi qu'un signal sonore (Adams, 1997).

Toutes les géomembranes conductrices peuvent être testées par ce procédé. Les lés, soudures, points singuliers (jonction avec des éléments extérieurs mais non métalliques) peuvent être prospectés. Cette méthode peut être appliquée sur des produits exposés, lors de leur pose, ou après achèvement de celle-ci si la géomembrane est sèche. Sous réserve que la géomembrane soit apparente, propre et sèche, cette méthode peut être envisagée au cours de la vie de l'ouvrage. Elle est déconseillée par temps de pluie. Par contre, la poussière ou les impuretés non conductrices ainsi que la présence de champs électriques périphériques n'affectent pas le test.

Un contrôleur interne ou externe peut sans formation particulière effectuer la prospection. Le temps de mise en œuvre est immédiat dès lors que la géomembrane est prête à être testée. Le temps de mesure est lui aussi immédiat tout comme la durée d'interprétation des résultats. La vitesse de prospection est de l'ordre de 1 000 à 5 000 m² par jour, pour un appareil et une équipe.

Cette méthode permet de localiser des défauts de moins de 1 mm de diamètre. Précision, fiabilité, répétabilité dépendent de l'opérateur puisque les défauts sont repérés visuellement et auditivement.

Les méthodes électriques pour les géomembranes non conductrices

À l'exception des géomembranes conductrices PEHD qui ne peuvent être testées que par induction avec un courant électrique de plusieurs kilovolts (cf. paragraphe précédent), le principe physique des méthodes électriques utilisées pour les géomembranes normalement non conductrices est de créer une différence de potentiel entre les deux faces de la géomembrane testée, et ensuite de localiser les endroits où le courant électrique peut circuler à travers les défauts de la géomembrane.

LA LANCE À EAU

Cette technique de prospection repose sur l'utilisation d'un jet d'eau et sur les propriétés d'isolant électrique de la géomembrane (Rollin et Jacquelin, 1998).

Pour les mesures, on utilise deux électrodes, l'une mise à la terre dans le sol support de l'ouvrage,

l'autre placée sur la lance à eau ou sur le balai. Les deux électrodes sont reliées à une source de courant continu 12 ou 24 volts (Rollin et Jacquelin, 1998).

L'alimentation en eau peut être fournie :

- par une citerne ;
- par un circuit fermé. Dans ce cas, une pompe placée au point bas du site permet la réutilisation des eaux de détection. Cela ne s'applique qu'aux sites possédant une géométrie adéquate ;
- par un réseau existant ayant une pression suffisante.

L'opérateur déplace la lance à eau sur la zone à prospecter (figure 3). Lorsque l'eau rentre en contact avec le sol chargé négativement du fait d'un défaut, le circuit entre la lance et le sol se ferme, engendrant une augmentation du signal électrique (Swyka *et al.*, 1999). Un signal sonore avertit l'opérateur de la présence du défaut.

Pour s'assurer du bon fonctionnement des appareils, des tests de vérification doivent être faits régulièrement au cours des mesures. On peut par exemple tester le dispositif en simulant une fuite en mettant tout simplement le bout de la lance en contact avec le sol. En effet, le sol étant un matériau conducteur un contact avec la lance à eau ou le jet d'eau devrait provoquer le passage d'un courant et induire un signal sonore.

Toutes les géomembranes non conductrices (polypropylène flexible (F-PP), polyéthylène basse densité (PEBD), PEHD, polychlorure de vinyle plastifié (PVC-P), bitumineuses) peuvent être testées. Les lés, soudures, points singuliers (jonction avec des éléments extérieurs mais non métalliques) peuvent ainsi être prospectés.

Cette méthode s'applique aux produits non recouverts pendant ou après la pose de la géomembrane,

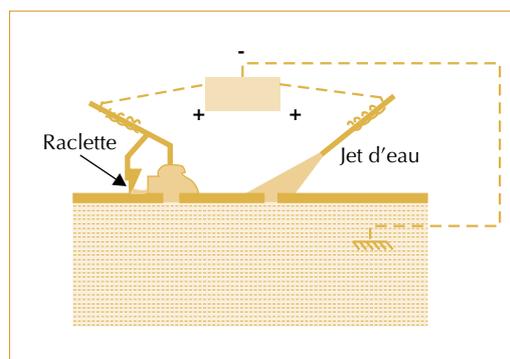
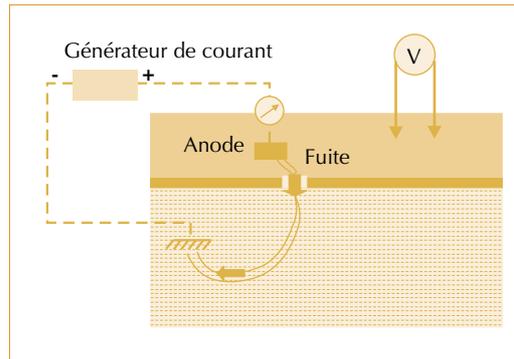


Figure 3 – Schéma de principe de la méthode géo-électrique dite du « jet ou de la flaque d'eau ».

► Figure 4 – Schéma de principe de la méthode par sonde mobile.



mais également au cours de la vie de l'ouvrage si on ne rencontre pas de problèmes de conductivité électrique (voir limites particulières d'utilisation) et si la géomembrane est propre.

Lorsque la géomembrane est installée ou que la pose de la géomembrane se fait de l'aval vers l'amont, il est préférable de commencer la détection des fuites par les zones les plus basses. En effet, les eaux de détection s'écoulant naturellement vers des points bas, si des fuites existent, elles vont engendrer un bruit de fond qui va perturber les mesures. De plus, pour localiser ces fuites, il faudra vider ces zones. Lorsque la pose de la géomembrane se fait de l'amont vers l'aval, la détection se fait une fois les travaux de soudure terminés.

Cette méthode n'est pas recommandée par temps trop humide, pluvieux ou de gel.

L'alimentation en eau peut être un facteur limitant de l'utilisation de cette méthode. Sur les pentes, l'opérateur doit pouvoir se tenir debout, le film d'eau doit être suffisamment important pour permettre la mesure. De plus, les matériaux sous la géomembrane doivent être conducteurs. Pour que la détection puisse être opérée, il doit y avoir un bon contact entre la géomembrane et le sol (pas de plis).

Le temps de mise en œuvre est de l'ordre de la demi-journée. Le temps de mesure est immédiat et la durée d'interprétation des résultats reste inférieure à 10 minutes (recherche du défaut dans la zone suspecte). La vitesse de prospection dépend du type de géomembrane, du débit d'eau disponible, de la géométrie du site, de la présence de plis ou d'objets sur la géomembrane. Cette vitesse de prospection est de l'ordre de 200 à 300 m² par heure et par opérateur, une journée est nécessaire à la formation de l'opérateur.

Cette méthode permet de localiser des défauts avec fuite. Des défauts de diamètre minimum égal à 1 mm peuvent être détectés (Rollin et Jacquelin, 1998).

La sensibilité de cette méthode dépend surtout de la hauteur d'eau imposée sur la géomembrane.

Cette méthode de détection impose le passage d'un opérateur sur la géomembrane. Cela permet la détection non seulement des défauts, mais également de faiblesses dans la géomembrane, tels que des amincissements.

Cette méthode est moins précise que d'autres méthodes électriques pour lesquelles on peut disposer de charges hydrauliques plus importantes comme celles qui sont présentées dans les paragraphes suivants.

LA SONDE MOBILE (FIGURE 4)

Pour la méthode utilisant une sonde mobile, on utilise deux électrodes. La première est mise à la terre dans le sol support de l'ouvrage, la deuxième sert à établir la différence de potentiel entre le sol extérieur et le milieu interne. Elle est placée dans le matériau recouvrant la géomembrane. Les deux électrodes sont reliées à une source de courant continu.

À l'aide d'un voltmètre mobile, on effectue des mesures de potentiel électrique suivant une densité de points prédéterminée. Un changement de signe dans les valeurs mesurées peut être une indication sur la proximité d'un défaut. Notamment, le champ de potentiel diminue quand on s'éloigne de l'électrode ; une augmentation de celui-ci indique donc la proximité d'un défaut. L'intensité du champ est maximale lorsque l'opérateur se trouve juste au dessus du défaut. Quand le défaut est à équidistance des électrodes, aucun gradient de potentiel n'est cependant détectable (Phaneuf et Peggs, 2001).

Une fois les courbes iso-potentielles tracées et l'interprétation des variations du champ faite, on peut localiser de façon précise les fuites et ainsi, dans la mesure du possible, les réparer.

Avant toute mesure, une étape de calibration est nécessaire. Elle s'effectue en trois étapes :

- calibrage de la zone à prospecter par une analyse préliminaire afin de quantifier le bruit de fond ;
- mesure du courant pour établir le niveau de sécurité ;
- simulation de défaut en utilisant une cellule de calibration ou en ayant connaissance d'un défaut de diamètre et de localisation connue (Peggs, 1996).

Toutes les géomembranes non conductrices (F-PP, PEBD, PEHD, PVC-P, bitumineuses) peuvent être testées. Les lés, soudures, points singuliers (jonctions avec des éléments extérieurs mais non métalliques) peuvent être prospectés. Cette méthode s'applique aux produits recouverts après achèvement de la pose mais également au cours de la vie de l'ouvrage si on ne rencontre pas de problèmes de conductivité électrique.

Dans le cas où la géomembrane est recouverte d'un liquide, la hauteur de celui-ci doit être comprise entre 0,1 et 1 m car au-delà, la mobilité de l'opérateur est réduite.

Un temps humide et/ou une pluie légère sont des conditions favorables à l'utilisation de cette méthode, à l'inverse du gel. Par contre une pluie abondante est nuisible à l'instrumentation et à l'isolation électrique de l'ouvrage.

Les matériaux de part et d'autre de la géomembrane doivent être conducteurs. Ainsi, par exemple, un sol sec recouvrant une géomembrane devra subir une humidification préalable. D'autre part, les matériaux recouvrant la géomembrane (eau, boue, sable, terre, granulats, argile, déchet) doivent être, le plus possible, isolés électriquement du sol extérieur et contenir le moins possible d'éléments métalliques (Peggs, 1996).

Il faut également faire attention aux effets de bords, créés par les pontages électriques des matériaux entre le dessus et le dessous de la géomembrane, si le matériau contenu dans l'ouvrage forme une couche continue en contact avec le sol extérieur.

Cette méthode est mise en œuvre par des entreprises spécialisées qui ne la délèguent pas, car elle requiert un niveau élevé de qualification.

Le temps de mise en œuvre est de l'ordre de la demi-journée. Le temps de mesure est immédiat, la durée d'interprétation des résultats est également inférieure à 10 minutes (recherche du défaut dans la zone suspecte).

La vitesse de prospection dépend du type de matériau recouvrant la géomembrane, de l'alimentation en eau dans le cas d'une humidification préalable nécessaire, de la géométrie du site et des conditions climatiques. Elle est de l'ordre de 150 à 250 m² par opérateur et par heure.

Cette méthode permet de localiser des défauts avec fuite. Des défauts de moins de 1 mm de diamètre (trous d'épingle) peuvent être détectés (Peggs, 1996).

La sensibilité de cette méthode dépend de :

- la visibilité des perturbations engendrées par le défaut dans le champ de potentiel établi dans le sol (signal du défaut par rapport au bruit de fond ou à une anomalie connue comme la localisation d'un drain) ;
- l'intensité du courant traversant le défaut : plus l'intensité du courant est élevée, plus le signal produit par le défaut est fort, meilleure est donc la sensibilité de détection ;
- la qualité des mesures : sensibilité du multimètre, stabilisation du signal, etc. ;
- la taille du maillage, qui est un paramètre très important de la mesure, car un maillage trop large ne permettra peut être pas de mettre en évidence deux défauts voisins ;
- la résistivité électrique des matériaux situés de part et d'autre de la géomembrane ainsi que de leur homogénéité et de leur épaisseur (Darilek et Laine, 1999) ;
- la nature du matériau recouvrant la géomembrane (un liquide permet une meilleure conductivité et améliore de ce fait la sensibilité) (Swyka *et al.*, 1999).

La résolution de cette technique est directement liée à la taille du maillage. Afin d'éviter qu'un défaut échappe à l'opérateur, l'espace entre les profils de tests ne doit pas être de plus de 2 mètres. Il est donc conseillé d'effectuer un maillage le plus fin possible autour des zones de fuite. La résolution peut également être augmentée en maximisant la conductivité des matériaux recouvrant la géomembrane par un arrosage abondant (la charge hydraulique augmente l'efficacité).

Les résultats sont présentés sous la forme d'un plan de calepinage avec récolement des défauts repérés.

LE SYSTÈME FIXE DE DÉTECTION DE LOCALISATION ET D'ALARME

L'intérêt majeur de cette méthode réside dans le fait qu'elle permet une surveillance de l'étanchéité en service, pendant plusieurs années, au cours de la vie de l'ouvrage. Cette méthode doit être prévue préalablement à la construction de l'ouvrage, car elle nécessite l'installation des capteurs sous la géomembrane.

Des capteurs sont placés dans le sol sous la géomembrane, à faible profondeur selon une grille modélisée au préalable. Chaque capteur est relié par un câble électrique à un boîtier de contrôle

situé à proximité de l'ouvrage. Après la pose de la géomembrane et de la couche de protection, une source électrique est installée : une électrode active est placée au-dessus de la géomembrane et une autre passive est mise à la terre dans le sol support de l'ouvrage (figure 5). Un courant peut alors être appliqué. La densité de courant sous la géomembrane est ainsi mesurée par les différents capteurs et toute anomalie électrique proviendra d'un défaut de celle-ci (Nosko et Ganier, 1999).

L'ensemble des mesures est envoyé par liaison téléphonique (fax-modem, e-mail) au centre d'interprétation. Les éventuels défauts sont ainsi détectés et localisés. Le logiciel développé pour l'interprétation des données prend en particulier en compte :

- la géométrie du site ;
- le type d'étanchéité (simple ou double) ;
- la nature du support (terre, béton, sable, ...) ;
- la nature de la couche de protection (liquide, sable...) ;
- les systèmes de drainage eau et gaz sous ou sur la géomembrane.

Le logiciel fournit dès lors le nombre de capteurs nécessaires, la localisation de celle-ci, le nombre de mètres linéaires de fil électrique, le nombre et la position des boîtes électriques. La distance entre deux capteurs peut varier de 6 à 12 m.

Toutes les géomembranes non conductrices (F-PP, PEBD, PEHD, PVC-P, bitumineuses) peuvent être testées. Les lés, soudures, points singuliers peuvent être prospectés.

Cette méthode s'applique aux produits en utilisation ou recouverts. Par fortes pluies, les bords de la géomembrane étant mouillés, la polarisation électrique du site est difficile. Par temps sec, les petits défauts sont difficilement localisables suite aux modifications de la conductivité électrique du sol.

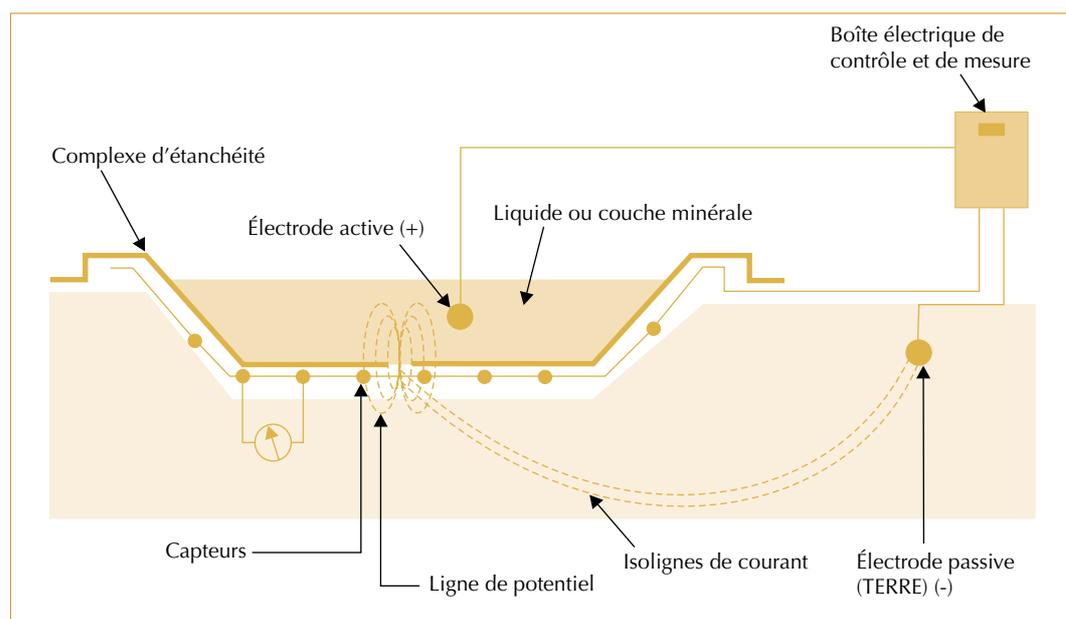
Un géotextile intercalé entre la géomembrane et le sol support peut faciliter la mesure car il permet une bonne circulation du liquide sous la géomembrane.

Les matériaux situés de part et d'autre de la géomembrane doivent être conducteurs et les plus homogènes possible.

La surface maximale testable est de 6 000 m² environ par centrale de mesure (128 capteurs). L'ouvrage à tester ne doit pas être trop petit pour pouvoir respecter un espacement minimal de 2 mètres entre deux capteurs voisins et un nombre minimal de 36 capteurs.

Pour détecter l'ensemble des défauts, plusieurs mesures successives doivent être effectuées (compter trois mesures par site).

Pendant la phase de mesure, pour éviter les perturbations électriques, la circulation d'engins doit être évitée.



► Figure 5 – Schéma de principe de la méthode Système fixe de détection, de localisation et d'alarme.

Des précautions particulières doivent être prises en ce qui concerne les points singuliers. En particulier il est recommandé que les conduites traversant les géomembranes non conductrices soient également constituées d'un matériau non conducteur afin d'éviter les anomalies électriques.

Cette méthode est appliquée par des entreprises spécialisées qui ne la délèguent pas car elle requiert un niveau élevé de qualification.

Le temps de mise en œuvre est de 3 000 à 4 000 m² par jour et par équipe pour un espacement de 8 mètres entre capteurs. Il faut compter également une heure de calibration. Le temps de mesure est de 2 minutes par mesure pour 10 000 m². La durée d'interprétation des résultats est de 2 heures par mesure.

Cette méthode permet de localiser des défauts avec fuite avec une précision de 15 % de l'espacement entre deux capteurs, soit typiquement de 0,5 à 1 m. La durée de vie du système dépend de la qualité des capteurs et des conditions d'exploitation (durées garanties de 6 mois à 10 ans).

La taille minimale des défauts détectée est inférieure au millimètre.

Les résultats sont présentés sous la forme d'un rapport technique avec cartographie de la position des défauts.

Méthode de tests utilisant des ultrasons

Cette méthode repose sur l'utilisation d'une machine automatique, dont un seul modèle existe à l'heure actuelle à notre connaissance, comportant 24 capteurs d'ultrasons baignant dans un liquide conducteur. Elle permet de tester la qualité des soudures. Pour assurer la continuité entre l'appareil à ultrasons et la soudure à tester, une rampe vaporise de l'eau sur la géomembrane (Breul *et al.*, 1998). La figure 6 présente le principe de la méthode. Les points A, B et C représentent respectivement la face supérieure de la géomembrane, en contact avec de l'eau, un point de la soudure et la face inférieure de la seconde géomembrane, en contact avec le sol. Lorsqu'il existe un défaut de soudure, comme cela est représenté sur la partie droite de la figure, il existe une interface entre l'air et la géomembrane au point B qui se traduit par l'obtention d'un pic.

La machine progresse le long de la soudure testée (les soudures peuvent mesurer jusqu'à 20 cm de largeur, ce qui correspond à la largeur de la rampe

de capteurs) en prenant une mesure tous les millimètres (dans la largeur). Chaque émetteur balaie une bande parallèle au sens de déplacement. Chaque bande est subdivisée en rectangles virtuels (9 mm x 5 mm) afin de faciliter le traitement de l'information et son enregistrement (Breul *et al.*, 1998).

Avant toute utilisation, l'émetteur/récepteur est réglé en utilisant une plaque métallique standard, d'épaisseur et d'impédance acoustique constante. La machine est ensuite calibrée par rapport à l'épaisseur de la géomembrane testée.

Notons l'existence d'un appareillage portatif permettant des contrôles manuels. Il comprend un appareil à ultrasons utilisant la bande de fréquence 1-3 MHz et un oscilloscope pour l'analyse.

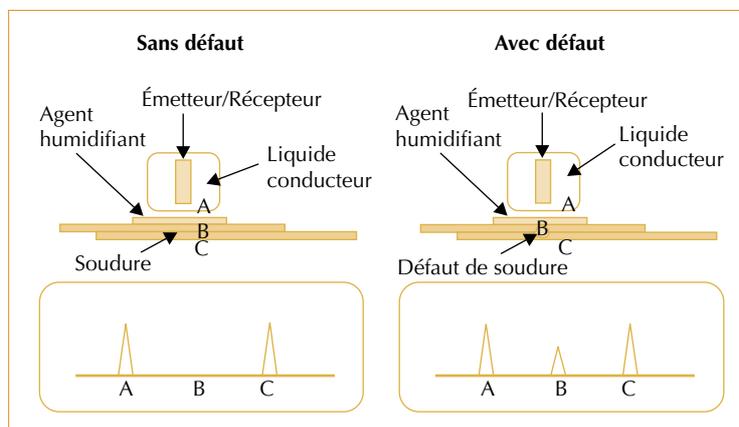
Toutes les géomembranes peuvent a priori faire l'objet d'essais. Cependant seules les géomembranes bitumineuses et celles en PEHD ont été testées jusqu'à présent. Les soudures et les points singuliers réalisés manuellement peuvent être prospectés.

Cette méthode s'applique aux produits non recouverts lors de la pose ou après achèvement de celle-ci. L'utilisation au cours de la vie de l'ouvrage peut être envisagée si la membrane est propre et non recouverte ; celle-ci peut être humide.

Les contraintes d'utilisation sont les suivantes :

- la température ambiante ne doit pas dépasser 35° C sinon la machine, qui pèse 200 kg environ, marque la géomembrane au niveau des pentes où la température va atteindre 60 à 70° C dans ces conditions ;
- la planéité de la soudure testée doit être au centimètre près ;

▼ Figure 6 – Schéma de principe de la méthode utilisant des ultrasons.



- les pentes doivent être suffisamment longues pour pouvoir utiliser la machine (20 m de rampant) ;
- cette méthode est appliquée par des entreprises spécialisées qui ne la délèguent pas car elle requiert un niveau élevé de qualification ;
- la calibration initiale nécessite une journée. La vérification quotidienne de la calibration nécessite une demi-heure ;
- le temps de mesure est immédiat. L'interprétation des résultats peut être faite immédiatement ou reportée en fin de journée sur la base des résultats collectés ce qui permet en outre de vérifier si les réparations ont été effectuées ;
- la vitesse de contrôle est de l'ordre de 100 m par jour en plat avec la machine et de 20 à 80 m par jour avec l'appareil portable ;
- cette méthode permet de localiser des défauts avec ou sans fuite ;
- la résolution est de 5 mm². Cependant, le logiciel ne définit que les défauts d'au moins 1,5 cm² (Breul *et al.*, 1998).

Conclusion

La synthèse présentée ici permet de présenter les différentes méthodes électriques et utilisant des ultrasons qui peuvent être mises en œuvre pour effectuer des détections de défauts dans les

geomembranes. Nous nous sommes également attachés à présenter leurs limites d'application. Les geomembranes conductrices permettent de tester l'intégrité de toute la geomembrane. La prospection géoélectrique doit être effectuée en l'absence d'humidité, et de couverture de la geomembrane. La lance à eau convient pour toutes les geomembranes non conductrices. Elle permet de tester l'intégrité de la surface de la geomembrane, lorsque celle-ci n'est pas recouverte. L'eau sert de liquide conducteur. Le même principe de fonctionnement est utilisé par les méthodes par sonde mobile et le système fixe de détection de localisation et d'alarme. Ces deux méthodes permettent également de tester toutes les geomembranes non conductrices, sur l'ensemble de leur surface, lorsqu'elles sont recouvertes soit pas un sol, soit par une nappe de liquide conducteur. Enfin, les Ultrasons peuvent être utilisés sur tous types de geomembranes, non recouvertes, pour tester les soudures. Là encore un apport d'eau est indispensable pour mener à bien la détection. Nous avons pu noter qu'il était indispensable de prendre en compte des contraintes liées au site et aux conditions météorologiques pour une bonne performance des ces méthodes. Enfin le projet d'utiliser une de ces méthodes doit être précisé et raisonné préalablement à la pose de la geomembrane pour certaines d'entre elles et non en situation d'incident (préciser quels types d'incidents ou accidents).



Résumé

Nous présentons les différentes méthodes électriques et par ultrasons permettant de détecter des défauts dans les geomembranes. Après une définition du terme « défaut », nous définissons pour chacune des méthodes présentées le principe de fonctionnement et de calibration, les conditions d'application, les limites particulières d'utilisation, la facilité de mise en œuvre, les types d'informations et de résultats obtenus ainsi que des informations sur la sensibilité de la méthode. Ces différentes méthodes sont applicables aux geomembranes non conductrices pour les méthodes électriques (polypropylène, polyéthylène, polychlorure de vinyle, bitumineuses) et aux geomembranes en polyéthylène haute densité et bitumineuses pour la méthode par ultrasons.

Abstract

Different electrical and ultrasonic leak detection systems are presented allowing to detect holes in geomembranes. A definition of the word "hole" is given first. Then, the measurement principle of each system is given, together with the calibration protocol, the conditions of use, the installation feasibility, the limits of validity, the description of results obtained and the way they are presented, the method sensitivity. Electrical methods are applicable to non-conductive geomembranes (polypropylene, polyethylene, polyvinylchloride, bituminous) and ultrasonic methods to high density polyethylene and bituminous geomembranes.

Bibliographie

ADAMS, M.W., 1997, Application of Conductive Geomembranes in Containment Applications, *Proceedings Sardinia'97, Sixth International Landfill Symposium* ; Christensen, Cossu and Stegmann Eds., Volume III, p. 57-63.

BREUL, B., CARROGET, J. et HERMENT, R., 1998, Automatic ultrasound seam tester for bituminous geomembranes – Development and field results, *Sixth International Conference on Geosynthetics, Atlanta, Georgia, USA*, p. 345-348.

DARILEK, G.T. and LAINE, D.L., 1999, Performance-based specification of electrical leak location surveys for geomembrane liners, *Geosynthetics '99, Boston, Massachusetts, USA, April 28-30 1999*, p. 645-650.

NOSKO, V. et GANIER, P., 1999, Damage Detection System, The New Tool for In-Situ Testing of Integrity of Geomembranes: Comparison and Results, in *Two days seminar of Landfill Interest Group, Institute of Waset management, 16 & 17 September 1999, Cape Town, South Africa*.

PEGGS, I.D., 1996, Defect identification, leak location, and leak monitoring in geomembrane liners, in *Proceedings of the first european geosynthetics conference, Geosynthetics: Applications, Design and Construction, Maastricht, Netherlands, 30 september – 2 october 1996*, de Groot, den Hoedt and Termaat Eds., p. 611-618.

PHANEUF, R. and PEGGS, I.D., 2001, Landfill construction quality, Lessons learned from electrical resistivity testing of geomembrane liners, *Geotechnical Fabrics Report*, April 2001, p. 28-35.

ROLLIN, A.L. and JACQUELIN, T., 1998, Geomembrane Failures: Lessons Learned From Geo-Electrical Leaks Surveys, in *Lessons learned from geomembrane failures* by J.P. Giroud (to appear), 17 p.

SWYKA, M.A., HULLINGS, D., LOSUE, G. and PEGGS, I.D., 1999, Overview of landfill liner leak location technologies, *Waste Technical Conference, New Orleans, LA, USA, Feb 1-2*, 9 p.