

DÉTECTION DE FUTES SUR GÉOMEMBRANES : OBSERVATIONS ET RÉSULTATS PROVENANT DE CAS RÉCENTS

LEAK LOCATION ON GEOMEMBRANES: OBSERVATIONS AND RESULTS BASED ON RECENT CASES

Carl CHARPENTIER, Thierry JACQUELIN
Groupe Alphard, Montréal, Canada

RÉSUMÉ – Il existe de nombreux ouvrages étanches utilisant des géomembranes dans le monde entier. Que ce soit pour protéger l'environnement d'une source de contamination, confiner des déchets ou encore stocker de l'eau potable, l'industrie des géosynthétiques a développé une gamme de produits diversifiés pour répondre à plusieurs besoins. Cependant, lors de l'étape de la construction, de multiples problèmes peuvent survenir et détériorer la performance de ces ouvrages. Cet article résume les techniques de détection de fuite normalisées ASTM, puis des statistiques sont partagées ainsi que quelques faits saillants provenant majoritairement de projets au Québec et au Canada.

Mots-clés : Détection fuites, jet d'eau, dipôle

ABSTRACT – Confinement installations using geomembrane materials exist throughout the world. The geosynthetics industry has developed a diversified range of geomembrane products for a variety of applications, including environmental protection from contamination sources, the confinement of waste materials, and the storage of potable water. However, the construction phase of confinement projects presents various risks to the integrity and performance of these installations. This article provides a summary of leak location techniques standardised by the ASTM and presents statistics and key facts from leak location surveys performed in Quebec and Canada.

Keywords: Leak Location, water puddle, dipole

1. Introduction

Il existe de nombreux ouvrages étanches utilisant des géomembranes dans le monde entier. Que ce soit pour protéger l'environnement d'une source de contamination, confiner des déchets ou encore stocker de l'eau potable, l'industrie des géosynthétiques a développé une gamme de produits diversifiés pour répondre à plusieurs besoins. Cependant, lors de l'étape de la construction, de multiples problèmes peuvent survenir et détériorer la performance de ces ouvrages, tel que démontré par Giroud durant la conférence Victor de Mello à São Paulo (Giroud, 2016).

Dans un premier temps, cet article résume les différentes techniques de détection de fuites sur géomembranes et leurs conditions d'application. Ensuite, différents cas concrets récents sont présentés, ainsi que les observations et les résultats les plus marquants qui découlent de ces contrôles, notamment en matière de taille de perforations, de quantité de fuites, des causes de celles-ci et bien d'autres. La majorité de ces études de cas proviennent de chantiers établis au Québec et ailleurs au Canada.

2. Description des principales méthodes de détection de fuites

De nombreuses méthodes existent actuellement autour du globe afin de localiser des perforations dans les géomembranes. De manière générale, toute compagnie qui décide de se lancer dans la détection de fuites se voit obligée de développer son propre équipement, en se basant sur ce qui se fait ailleurs ou en réinventant un système avec quelques variantes. De ce fait, chaque compagnie est propriétaire de ses méthodes, et il est fréquent qu'elle nomme ces méthodes selon l'inspiration du moment, probablement pour souligner l'unicité de leur produit et ainsi se différencier de la masse. Ce phénomène n'aide pas la communauté à s'y retrouver, car plusieurs méthodes quasi identiques portent des noms différents.

Heureusement, il existe une norme américaine ASTM qui définit les principales méthodes en anglais et qui propose un lexique général. Les deux méthodes sur lesquelles cet article est basé sont les plus couramment utilisées : la méthode du jet d'eau (*water puddle*) sur géomembrane exposée et celle du dipôle (*dipole*) sur géomembrane recouverte de matériaux naturels.

2.1. Méthode du jet d'eau (*water puddle*) sur géomembrane exposée

La campagne de détection de fuites par la technologie du jet d'eau (selon la norme américaine ASTM D7002 – « *Standard practice for leak location on exposed geomembranes using water puddle system* ») permet de détecter les perforations potentielles qui apparaissent durant la pose de la géomembrane.

La technique du jet d'eau est une méthode géoélectrique qui utilise la propriété d'isolation électrique de la géomembrane pour localiser des perforations (figure 1). Une tension électrique continue (DC) est appliquée dans une lance métallique et une mise à la terre est placée à l'extérieur du site afin de stimuler une différence de potentiel entre l'eau de la lance et l'assise de la géomembrane. Dès qu'une perforation suffisamment grosse pour laisser passer l'eau est atteinte, un film d'eau traverse cette fuite et crée un pont électrique entre la tension positive et la mise à la terre. Un signal sonore est produit pour avertir le technicien spécialisé de la présence d'une fuite. La lance de jet d'eau humidifie 100 % de la surface à vérifier et valide donc entièrement la surface. Cette technologie permet de détecter des perforations de taille inférieure à 1 mm².

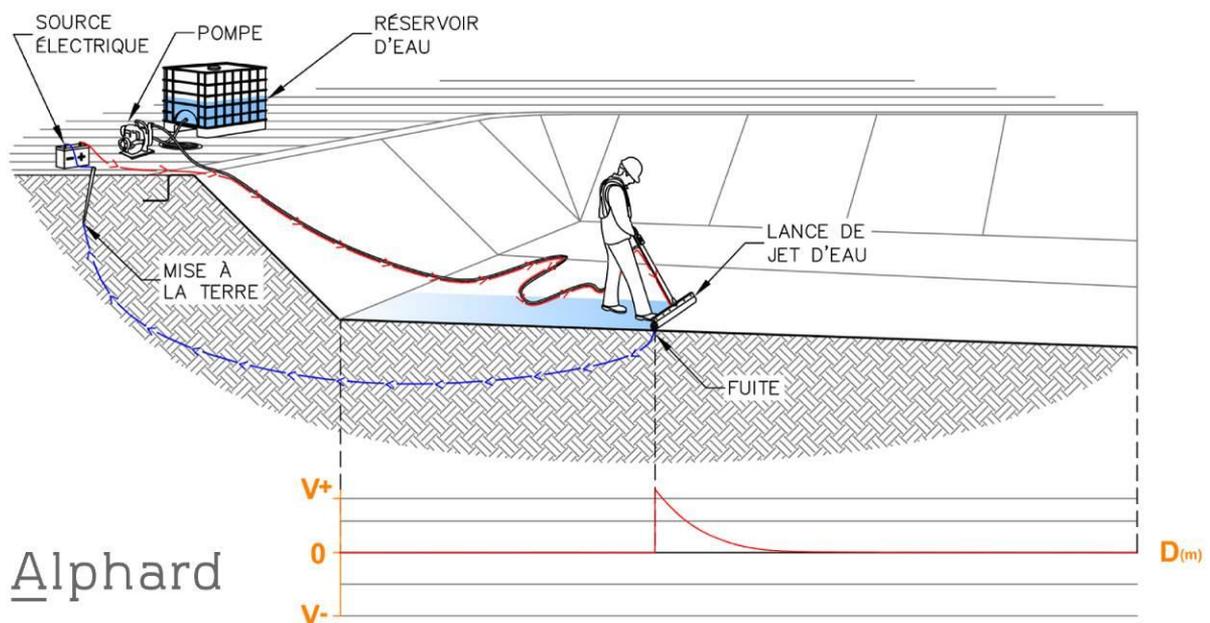


Figure 1. Schéma de la méthode du jet d'eau

Pour effectuer une campagne de détection de fuites par jet d'eau, la géomembrane ne doit pas être recouverte de grosses flaques d'eau. Une fuite dans une flaque d'eau sera détectée, mais cette dernière devra être pompée pour permettre les réparations nécessaires. De plus, la méthode du jet d'eau est plus efficace lorsque la géomembrane ne contient pas trop de plis. Finalement, la méthode fonctionne sur des pentes douces, mais se limite au passage vertical de l'eau dans les défauts ; plus la pente est forte et plus l'eau aura tendance à glisser en surface au lieu de pénétrer dans une fuite. La pente maximale typique est de 3H : 1V.

2.2. Description de la méthode du dipôle sur géomembrane recouverte

La campagne de détection de fuites par la technique du dipôle (selon la norme américaine ASTM D7007 – « *Standard practices for electrical methods for locating leaks in geomembranes covered with water or earth materials* ») permet de détecter les perforations potentielles causées par la mise en place des matériaux de recouvrement.

La méthode géoélectrique du dipôle utilise la propriété d'isolation électrique de la géomembrane pour localiser des perforations (figure 2). Un courant électrique de l'ordre de 550 V continu est directement injecté dans le recouvrement de sable, puis une mise à la terre est placée à l'extérieur du site afin d'obliger le courant électrique à passer par d'éventuelles fuites dans la géomembrane, générant ainsi un champ électrique typique identifiable en surface par le technicien qualifié.

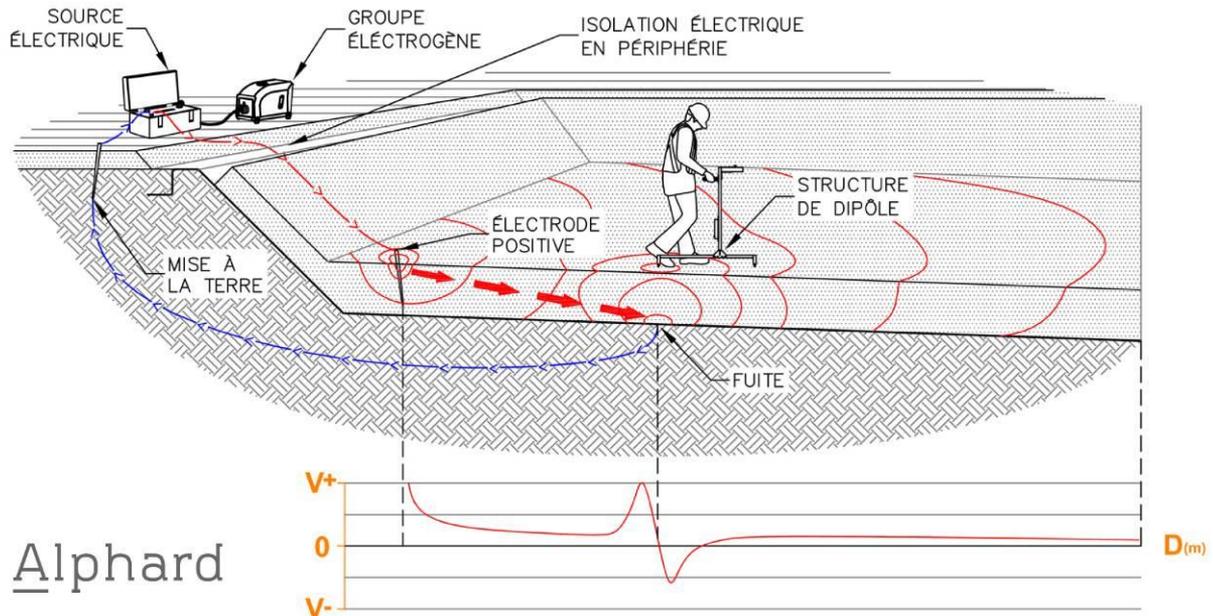


Figure 2. Schéma de la méthode du dipôle

3. Types d'ouvrages compatibles

Tout le concept de la détection de fuites sur géomembrane est basé sur une isolation électrique créée par une géomembrane non conductrice. Attention ici à la nuance apportée par les géomembranes PEhd conductrices, qui ne le sont que sur une couche très mince sur une seule face. D'un point de vue général, ces géomembranes sont aussi non conductrices entre l'eau (provenant de la lance de jet d'eau) ou les matériaux naturels (dipôle) et le sol-support sous la géomembrane.

Un seul type de géomembrane est conducteur sur toute son épaisseur : les géomembranes EPDM (terpolymère éthylène-propylène-diène). Plusieurs tests pratiques ont été réalisés dans le passé afin d'essayer d'établir un seuil de conductivité électrique qui permettrait d'isoler un signal de fuite plus conducteur que le reste, sans succès. Les autres géomembranes compatibles sont les plus couramment utilisées : toutes les géomembranes à base de polyéthylène, bitumineuses, PVC et bien d'autres. En résumé, la seule contrainte est le type de géomembrane. Bien entendu, de nombreux facteurs influencent la précision des méthodes, incluant l'épaisseur de recouvrement lors de la campagne de dipôle, ou la présence de dépôts sur la géomembrane dans le cas d'une campagne de jet d'eau.

4. Principales raisons qui motivent une campagne de détection de fuites

Pourquoi vérifier l'étanchéité d'un ouvrage avant de le mettre en exploitation ? Cela peut sembler une question rhétorique à première vue, mais dès qu'il est question d'un budget additionnel dans un projet, la légitimité de cette décision est vite remise en question. Le fournisseur de géomembrane offre déjà une garantie d'usine sur le produit, l'installateur fournit, quant à lui, des contrôles et sa propre garantie. Alors, pourquoi le faire ? Voici une courte liste des principales raisons qui motivent une campagne de détection de fuites.

4.1. Étanchéité

4.1.1. Diminuer les risques de pollution

La raison la plus courante est sans conteste la diminution du débit de fuites à travers un ouvrage étanche. Le type de liquide contenu dans un bassin peut varier grandement : de l'eau, des lixiviats de déchets domestiques ou déchets miniers, des produits chimiques en usine ou même des déchets radioactifs pour n'en nommer que quelques-uns. Un propriétaire de site qui priorise l'environnement pourrait souhaiter réaliser une détection de fuites dans un projet pour minimiser les risques de pollution.

4.1.2. Restreindre la perte de liquides de valeur

L'eau est une denrée de plus en plus précieuse. Les retenues collinaires sont particulièrement utilisées en Europe, et les réservoirs d'eau potable ou d'eau de pluie pour l'irrigation sont également répandus. Un bassin plein de fuites ne gardera pas son niveau d'eau et les garanties vont obliger les différents intervenants à réagir, mais il peut être ardu de localiser les fuites pour savoir où il faut réparer.

Un cas similaire se retrouve dans certains projets miniers qui utilisent des piles de lixiviation pour récupérer des métaux précieux : un arrosage en surface est employé avec de l'acide, qui traverse une couche de plusieurs mètres de roche concassée et dissout les métaux. Cet acide est ensuite récupéré par une géomembrane en fond puis le métal en est extrait. La dynamique est quelque peu différente dans ce cas de figure, car on connaît le coût d'une nouvelle pile de lixiviation, et il est possible d'estimer le débit de fuites d'acide, et conséquemment la perte de matière première. Si la perte devient plus importante que le coût d'une nouvelle installation, elle est condamnée. Il serait beaucoup plus économique et écologique de localiser les fuites, les réparer, puis reprendre l'exploitation, mais il est rarement possible d'arrêter l'exploitation quelques jours le temps de faire la détection de fuites.

Il n'empêche que la décision d'effectuer une détection de fuites pour limiter les fuites d'une pile de lixiviation peut venir d'un motif économique, cela aura aussi certainement l'effet de diminuer la pollution (Thiel et al., 2005).

4.2. Débit de fuites maximal selon les lois en vigueur

Lors de l'exploitation d'un bassin à double étanchéité, un débit peut être observé et mesuré entre les deux géomembranes. Ce débit provient théoriquement des fuites dans la géomembrane supérieure, mais il se peut que des fuites dans la géomembrane inférieure modifient ce débit, soit en le diminuant si le sol-support est drainant et que le niveau de la nappe phréatique est bas, ou inversement puissent l'augmenter si la nappe se déverse dans le réseau de collecte.

Quoi qu'il en soit, le débit maximal récupéré entre les géomembranes (également appelé système de détection de fuites, ou réseau de collecte secondaire) peut être fixé par l'état selon la géométrie de l'ouvrage, et un objectif est lancé, par exemple « maximum 100 litres par jour », autrement l'usage du bassin doit être stoppé en attendant de remédier à la situation. Ce facteur est nommé ALR en anglais, venant du terme « *action leakage rate* ».

4.3. Réputation

4.3.1. Proactive

Un propriétaire de site ou une firme de conseil en ingénierie peut prendre la décision d'inclure une détection de fuites dans un projet afin de démontrer ses bonnes intentions à la population locale pour faciliter l'implantation d'un nouveau projet. Il est aussi possible de le faire pour rassurer le gouvernement et aider à l'obtention d'un permis. Finalement, certaines compagnies le font et l'affichent sur leur site web pour valoriser leur image d'entreprise publique.

4.3.2. Réactive

Tout le monde sait qu'une réputation est plus facile et rapide à détruire qu'à construire. Une industrie qui a été reconnue publiquement pour des problèmes de pollution peut chercher à redorer son image en effectuant de la détection de fuites sur toutes ses extensions de projets afin de démontrer que tout est mis en œuvre pour ne pas répéter les problèmes déjà survenus.

4.4. Mesure de la performance d'un concept ou d'une réalisation

La détection de fuites est l'unique manière de mesurer la performance d'un entrepreneur immédiatement après la construction, sauf si le projet s'est déroulé assez mal pour qu'une contamination ait été rapidement observée dans les puits en aval. Un ingénieur pourrait être curieux de valider ses choix de matériaux, ou l'ensemble du projet dans son intégralité une fois la construction terminée.

La possibilité d'effectuer une détection de fuites par jet d'eau après l'installation, puis un dipôle après la mise en place de la couche de recouvrement permet de séparer les responsabilités des deux intervenants : une fois le jet d'eau terminé, l'installateur peut quitter le chantier avec l'esprit tranquille et s'il doit revenir, ce sera à la charge de l'entrepreneur général. Lorsqu'une seule détection de fuite est effectuée à la fin des travaux, si les fuites ne sont pas énormes et forcément causées par de la machinerie lourde, la porte est ouverte pour un débat afin de décider qui est responsable et qui doit couvrir les frais de réparation.

4.5. Ouvrage non étanche

Enfin, il est courant d'avoir des demandes pour des ouvrages qui présentent des fuites observables, comme la baisse de niveau, la contamination environnante ou une mesure de débit dans un système à double étanchéité. Ces projets sont souvent complexes, car il est facile d'ajuster certains aspects du site durant la construction pour favoriser au maximum la détection de fuites. Mais lorsque le site est terminé, cela peut être coûteux ou même impossible. « [...] le projet d'utiliser une de ces méthodes doit être précisé et raisonné préalablement à la pose de la géomembrane pour certaines d'entre elles et non en situation d'incident » (Touze Foltz, 2002).

Il arrive qu'une couche de béton soit coulée sur la couche de protection et de drainage au-dessus de la géomembrane, ce qui rend la détection de fuites impossible. Parfois, il y a même des chemins en asphalte au-dessus de géomembranes endommagées. Il arrive aussi que des aérateurs soient branchés, ou des sondes et autres appareils électriques conducteurs qui modifient les flux de courant électriques dans le sol, perturbant ainsi les lectures lors d'une détection de fuites.

5. Statistiques et découvertes originales

5.1. Nombre de fuites détectées

La première question posée est généralement celle-ci : quelle est la moyenne de fuites détectées dans un projet ? Celle qui suit après est : combien ne le sont pas ? Pour la seconde question, il est malheureusement impossible de le savoir sans faire deux campagnes de détection de fuites de suite par deux compagnies différentes, ce qui n'arrive évidemment jamais pour des raisons de budget et de rentabilité. Par contre, en ce qui concerne les fuites détectées, le tableau 1 présente quelques statistiques internes cumulées sur huit années :

Tableau 1. Nombre de fuites par méthode

	N ^{bre} de projets	N ^{bre} de fuites	Superficie (m ²)	Fuites/hectare
Jet d'eau	52	782	1 294 319	6,04
Dipôle après jet d'eau	32	59	807 323	0,73
Dipôle uniquement	25	130	568 524	2,29
Total	109	971	2 670 166	3,64

Il peut être intéressant de noter ici que sur une période de 17 années de détection de fuites, les auteurs ont toujours trouvé des fuites avec la méthode du jet d'eau, à l'exception de quatre ouvrages. Cela illustre que, malgré les programmes de contrôle-qualité appliqués par les installateurs spécialisés, principalement dirigés vers les soudures, il est fréquent, voire normal, qu'un ouvrage fraîchement terminé comporte des fuites.

Un autre aspect intéressant qui peut être déduit de ce tableau est la moyenne de fuites détectées au dipôle lorsqu'aucune campagne de détection de fuites sur géomembrane exposée n'a été effectuée au préalable. Si une moyenne de 5,89 fuites/hectare s'applique sur les géomembranes après l'installation, la moyenne au dipôle ne devrait-elle pas être de 5,89 en plus des fuites créées par l'entrepreneur général lors de la mise en place de la couche de matériaux naturels ? La réponse est simple : la méthode du dipôle est beaucoup moins précise que le jet d'eau.

Avec la méthode du jet d'eau, le système agit comme un circuit « ON/OFF » : il y a un contact avec l'assise ou il n'y en a pas. La réponse du système est précise et nette, sans ambiguïté. Au dipôle, le courant électrique se diffuse dans la couche et cherche un chemin pour rejoindre l'assise. Il peut y avoir plusieurs fuites, un chemin d'accès, un regard conducteur en contact, ou simplement un géotextile mouillé qui laisse s'échapper le courant électrique. Toutes ces portes de sortie électrique divisent le courant global en fractions plus petites, générant un signal plus faible à proximité de fuites réelles. Il est donc quasi impossible de détecter un coup de couteau ou une mauvaise soudure par extrusion au dipôle, sauf si les conditions sont idéales et qu'il y ait peu de fuites.

La méthode du dipôle est indiquée pour détecter les bris plus importants générés par la machinerie lourde, mais pas tous les défauts d'installation.

5.2. Types de fuites

La majorité des fuites, soit 80,54 %, a été détectée avec la méthode du jet d'eau. Ces fuites sont de plus petites tailles en moyenne, car autrement, elles auraient été réparées par l'installateur avant la détection de fuites, exception faite des sites existants qui présentent souvent des conditions sales (accumulation de sable, de boue ou de dépôts) qui masquent complètement les défauts. La plus grosse fuite que nous ayons détectée par la méthode du jet d'eau dans un site boueux était une déchirure de plus de 70 cm de long que personne n'avait vue.

Un article de 2005 par Forget et al. démontrait que 69 % des fuites étaient localisées dans les panneaux. Nos statistiques internes de jet d'eau ne reflètent pas cette valeur, avec 65 % des problèmes détectés dans les soudures (fusion et extrusion). La figure 3 montre les types de fuites détectées pour chacune des méthodes.

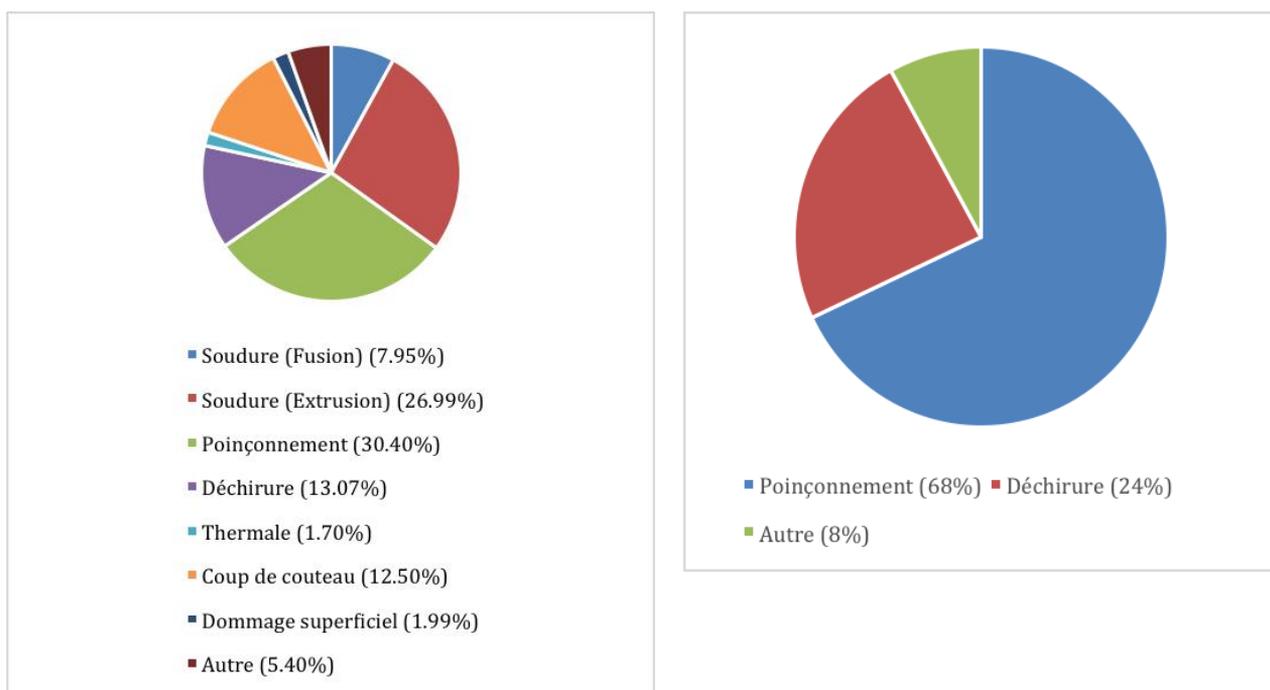


Figure 3. Types de fuites détectées par chacune des méthodes

5.3. Taille des défauts détectés

Par rapport à la taille des défauts détectés, celles au jet d'eau sont typiquement d'un ou deux millimètres carrés. Celles du dipôle varient beaucoup plus, entre une tête d'épingle et plusieurs mètres

de long. En effet, une fois la géomembrane recouverte, il est pratiquement impossible d'avoir un contrôle sur son intégrité, et les fuites excavées après une campagne de dipôle troublent parfois les clients et entrepreneurs. En moyenne, 57 % des fuites détectées au dipôle font moins de 1 cm², 31 % font entre 1 et 10 cm², 16 % entre 10 et 100 cm², et 8 % des fuites font plus de 100 cm², soit 10 cm sur 10 cm. Ces chiffres démontrent que certains ouvrages, sans une détection de fuites, n'offrent pas l'étanchéité requise, et ce immédiatement à la fin de la construction.

5.4. Proportion des ouvrages avec géomembranes validés par détection de fuites

Cette recherche a été amorcée en 2010 lorsque la compagnie américaine LLSI (Leak Location Services Incorporated) a lancé dans une présentation, que, basé sur leurs estimations, probablement 2 % de toutes les géomembranes installées en Amérique du Nord sont validées avec des méthodes de détection de fuites (Darilek and Laine, 2010). Ayant fait la promotion de la détection de fuites au Québec depuis plus de 20 ans, cela nous semblait irréaliste.

Une étude complète a été faite au Québec en 2014 afin d'estimer le pourcentage de géomembrane installée qui avait été testé, incluant tous types de géomembranes et toutes les méthodes de détection de fuites. L'intérêt d'une telle étude a toujours été présent, mais difficile à réaliser, car elle demande la participation de toutes les firmes spécialisées en installation de géosynthétiques (PEhd, PVC) et des entrepreneurs formés pour l'installation de géomembrane bitumineuse. Il peut être ardu de convaincre toutes ces sociétés en concurrence pour monter un portrait global sans révéler d'information sensible. La même problématique est présente en ce qui a trait aux compagnies offrant le service de détection de fuites sur le territoire visé.

C'est avec l'appui de 8 entrepreneurs différents et 3 sociétés de détection de fuites (incluant celle de l'auteur) que les chiffres suivants ont été publiés en 2015. Au Québec, en 2014, un total de 2 037 538 m² de géomembrane a été installé. Voici un tableau (Tab.2) des superficies testées par jet d'eau, arc test et dipôle uniquement.

Tableau 2. Pourcentage de géomembrane validée au Québec en 2014

Méthode	Superficie validée (m ²)	% du total de géomembrane
<i>Détection de fuites</i>	438 844	21,41 %
<i>Arc test</i>	45 091	2,21 %
<i>Jet d'eau</i>	331 815	16,29 %
<i>Dipôle</i>	374 453	18,38 %
<i>Jet d'eau et dipôle</i>	312 515	15,34 %

Le chiffre recherché était le pourcentage de géomembrane validée, mais sans distinction si plusieurs tests ont été effectués sur la même géomembrane. Effectuer les deux contrôles (jet d'eau et dipôle) fait partie des bonnes pratiques courantes, et la somme des chantiers qui ont été validés en double doit donc être déduite du total de superficie validée, qui atteint les 438 844 m² pour 2014, ce qui représente plus de 21 % de la géomembrane installée.

Sur ces 21,41 % de géomembranes validées, 105 fuites ont été détectées et réparées. Par interpolation, on peut imaginer qu'environ 400 fuites étaient présentes sur les 78,59 % de géomembranes fraîchement installées et non testées.

5.5. Découvertes originales

La fuite la plus grosse que nous ayons détectée et déterrée avait un peu plus de 12 m de long. La cause probable serait qu'un véhicule aurait pris un raccourci au-dessus de la couche de drainage sans utiliser la voie d'accès habituelle de 1,2 m d'épaisseur, créant ainsi une ornière dans l'argile d'assise. La géomembrane n'étant pas élastique, elle n'a pas pu suivre la déformation causée et s'est déchirée en ligne droite (Figures 4 et 5).



Figure 4. Déchirure de 12 m de long



Figure 5. Creux dans l'assise à l'endroit de la déchirure

Dans une campagne de détection de fuites par dipôle après un glissement de terrain, une seule fuite a été détectée à l'endroit où la géomembrane de PEHD 1,5 mm a littéralement éclaté sous la tension, probablement à cause d'une faiblesse à cet endroit précis (Figures 6 et 7).



Figure 6. Site après un glissement de terrain



Figure 7. Géomembrane sous vive tension

Il arrive qu'un intervenant sur un chantier occasionne des dommages et s'inquiète de se faire réprimander. C'était le cas pour cette déchirure d'accrochage de Bobcat qui fut simplement recouverte d'un sac de sable, mais détectée avec la méthode du jet d'eau avant de déplacer le sac. On peut voir sur les photos la limite de la zone mouillée par le jet d'eau jusqu'au sac, puis l'électricité a fait son chemin au travers du sable humide dans le sac (Figures 8 et 9).



Figure 8. Sac de lest qui cachait une fuite



Figure 9. Marquage de peinture pour réparation

La fuite la plus insolite détectée était un bout de métal qui s'est avéré être un vélo entier enfoui dans l'argile d'assise (Figures 10 et 11).



Figure 10. Pièce métallique traversant la géomembrane



Figure 11. Vélo dans l'assise

Le recouvrement le plus épais que nous avons testé et dans lequel nous avons trouvé des fuites (11 fuites au total) avait 1,1 m d'épaisseur (matériau tout-venant) (Figures 12 et 13).



Figure 12. Localisation d'un signal de fuite



Figure 13. Excavation d'une fuite pour réparation

Le projet de dipôle le plus froid réalisé avec succès (fuites détectées) s'est fait à -13 degrés Celsius avec un ouvrier qui arrosait le sol d'eau bouillante devant l'opérateur afin de le faire dégeler localement devant lui juste avant la prospection (Figures 14 et 15).



Figure 14. Fuite détectée malgré le sol gelé



Figure 15. Conditions normalement trop froides pour une campagne de dipôle

7. Conclusion

Cet article ne parle pas de l'assurance-qualité effectuée par une tierce partie en chantier, mais ne nie pas son importance, bien au contraire. La détection de fuites est un outil formidable pour valider le travail des différents entrepreneurs sur un chantier et diminuer le risque de fuites, mais ce n'est pas une indication de la durabilité d'un ouvrage. L'assurance-qualité, quant à elle, va plutôt miser sur le respect de bonnes pratiques, la validation de la conformité des appareils utilisés (certificat de calibration des tensiomètres, cartes de compétence des installateurs, etc.), et donc de la qualité des soudures et des matériaux.

La détection géoélectrique de fuites sur géomembrane n'est pas une nouveauté, les méthodes sont appliquées en chantier depuis près de 25 ans et des normes les encadrent depuis déjà 15 ans. Des sociétés se sont spécialisées dans ce domaine et possèdent plusieurs années d'expérience ainsi que des équipements qui sont améliorés régulièrement. Ces entreprises sont mobiles et prêtes à se déplacer sur des chantiers pour un coût raisonnable : moins de 1 % du coût de projet global selon nos statistiques internes. Il n'y a donc aucune raison pour ignorer cette étape lors d'une construction d'ouvrage étanche et simplement croiser les doigts en espérant qu'il n'y a pas de problèmes qui surgissent.

8. Références

- Charpentier C. et al. (2016). Statistics on ell surveys compared to the overall geomembrane covered area in the province of Quebec in 2014. Proc. Third PanAmerican Conference on Geosynthetics, GeoAmericas 2016, Miami Beach, pp. 520-529.
- Forget B. et al. (2005). Lessons Learned from 10 Years of Leak Detection Surveys on Geomembranes, Sardinia Symposium, Sardinia, Italy.
- Giroud J.P. (2016). Leakage Control using Geomembrane Liners, Soils and Rocks, Sao Paulo, 39(3): 213-235, September-December.
- Darilek G.T., Laine D.L. (2010). Leak Location Surveys, The Past, The Present, The potential, GSI Annual Meeting 2010
- Touze Foltz N. (2002). Méthodes de détection et de localisation de défauts dans les géomembranes. Ingénieries – E A T, 2002, p. 17 – p. 25. <hal-00465455>
- Thiel R., Beck A., Smith M.E. (2005). The Value of Goelectric Leak Detection Services for the Mining Industry, Geofrontiers, ASCE, Waste Containment and Remediation. p. 1.