

PROCÉDURES DE CONTRÔLE, D'ESSAIS ET DE RÉPARATION DES DISPOSITIFS D'ÉTANCHÉITÉ PAR GÉOMEMBRANES PVC-P DANS LES OUVRAGES SOUTERRAINS

METHODS OF CONTROL, TESTS AND REPAIR OF PVC-P SHEET WATERPROOFING SYSTEMS IN TUNNELLING

Paul GUINARD
SOPREMA, Strasbourg, France

RÉSUMÉ - Cet exposé présente les différents dispositifs d'étanchéité par géomembranes (DEG) PVC-P utilisés en Europe sur les ouvrages souterrains et les compare en fonction de leur capacité à être contrôlés et réparés. Du plus simple au plus complexe, la description de ces procédés permet de comprendre les rôles des différents composants (géomembranes et équipements) dans le cadre du DEG mais aussi dans la réalisation des contrôles et essais. La capacité à être vérifié et éventuellement réparé à moindre coût est un critère de choix important dans la sélection d'un DEG.

Mots-clés : Étanchéité, PVC-P, ouvrages souterrains, essais, réparation

ABSTRACT - This paper presents the different PVC-P Sheet Waterproofing Systems developed for tunnelling in Europe, compares them with respect to their capacity to be controlled, tested and repaired. From the simplest to the most complex, the description of these systems allows to understand the role of each element (PVC-P sheets and accessories) in the waterproofing system and the execution of controls and checks. The system's capacity to be tested and eventually repaired at low cost is an important criterion for the selection of the waterproofing system.

Keywords: Waterproofing, PVC-P, underground structures, tests, repair

1. Introduction

Les dispositifs d'étanchéité par géomembranes (DEG) sont, pour les ouvrages enterrés, un maillon fondamental dans le processus de construction. L'importance de la protection de l'ouvrage vis-à-vis des actions de l'eau est telle que les trois objectifs suivants doivent impérativement être atteints :

- protection de la structure elle-même face aux dégradations physico-chimiques et mécaniques que peut engendrer son contact prolongé avec l'eau ;
- protection des équipements électriques et électroniques intérieurs ;
- sécurité des infrastructures internes (routes, métros, ...).

Pour réussir un tel challenge, il est nécessaire d'allier des produits et un processus de construction appropriés. En fait, la réussite résulte d'une bonne réalisation des opérations préalables (excavation, soutènement, projection de béton...), de l'étanchéité elle-même mais aussi des opérations ultérieures (ferraillage, bétonnage...). A contrario, une erreur de réalisation d'une des phases peut nuire au bon fonctionnement du DEG.

Pour limiter de manière importante les risques liés à la réalisation de ces différentes phases, il est nécessaire de mettre en place :

- une série de procédures de contrôle afin de s'assurer de la bonne réalisation des opérations ;
- des procédures d'essais sur les DEG qui le permettent ;
- des procédés de réparation efficaces une fois les travaux terminés.

La présente communication a pour objectif de décrire les principaux DEG à base de géomembranes PVC-P utilisés dans le cadre de la réalisation d'ouvrages enterrés et les diverses procédures de contrôle, d'essais et de réparation actuellement utilisées.

2. Dispositifs d'étanchéité

Avant de décrire les modalités de contrôle et d'essais, il est nécessaire de présenter les principaux systèmes d'étanchéité PVC-P utilisés dans les ouvrages souterrains en Europe.

Les différents systèmes ont les mêmes exigences en termes de support et de couche de désolidarisation.

2.1. Le support

Le support est généralement constitué de béton projeté sur le terrain naturel ou de murs de soutènement. Ces supports doivent être cohésifs, propres (absence de pollution et de trace d'hydrocarbures ou d'huile de décoffrage...), réguliers (absence de pointes agressives) et secs (absence de coulées importantes ou d'eau stagnante).

Dans le cas où le support n'est pas conforme, les opérations suivantes peuvent être menées :

- pour régulariser le support, du béton peut être projeté afin de remplir les creux, fermer les joints de construction et recouvrir les parties métalliques (têtes de clous, cintres...);
- pour nettoyer le support, le nettoyage par lavage à haute pression est suffisant mais nécessite un temps de séchage ;
- pour capter les coulées d'eau importantes, on peut installer des drains protégés par géotextiles qui redirigeront l'eau captée vers le collecteur en pied du DEG.

2.2. La couche de protection inférieure

Il s'agit de la protection de la géomembrane d'étanchéité lors de la mise en œuvre du revêtement intérieur (DEG mis en œuvre en intrados) ou lors du remblaiement (dalles et piédroits en tranchée couverte avec un DEG mis en œuvre en extrados). Elle est placée entre le support et la géomembrane.

Cette couche est généralement constituée de géotextile non tissé dont les caractéristiques dépendent principalement de la nature du support. En France, des recommandations AFTES aident à son dimensionnement.

2.3. Systèmes monocouches

La couche d'étanchéité est réalisée à base d'une géomembrane PVC-P d'une épaisseur d'au moins 2 mm. Cette couche sera généralement posée en indépendance totale dans les parties horizontales ou en semi-indépendance dans les zones verticales. Les lés seront soudés entre eux par soudure à chaud (double piste à canal central) avec un recouvrement de 8 à 10 cm.

Suivant les pays, des géomembranes bicolores ou translucides sont utilisées. Comme le montre la figure 1, les géomembranes bicolores (une face claire, une face foncée) ont l'avantage de permettre un repérage aisé des éventuelles déchirures de la géomembrane (fort contraste de couleur). Néanmoins, en France et en Espagne par exemple, des membranes translucides sont utilisées, ce qui permet un excellent contrôle visuel des soudures.

Les systèmes monocouches sont très utilisés dans les pays du sud de l'Europe car ils sont très peu coûteux mais ils ne sont ni réparables, ni contrôlables après bétonnage.

2.4. Système monocouche avec compartimentage et systèmes d'injection périphériques

Le système précédent peut être complété par un compartimentage équipé de systèmes d'injection par tubes perforés disposés le long des profilés de compartimentage. Ces derniers sont mis en œuvre de manière à créer des compartiments de dimensions limitées (figure 2). L'eau provenant de pertes accidentelles y est cantonnée.

La zone est ainsi délimitée par les joints de compartimentage et l'utilisation des dispositifs d'injection permet de colmater les fuites éventuelles. Par contre, c'est une solution curative car aucune action préventive n'est possible et le système n'est pas contrôlable avant sa mise en service. Par ailleurs, il est à noter que l'utilisation des tubes d'injection peut être rapidement très onéreuse car il est impossible de déterminer à l'avance la quantité de produit à injecter.

Par ailleurs, des tubes d'injection de diamètre plus important peuvent être placés en clé de voûte d'un tunnel et permettre l'injection de mortier dans les espaces vides qui n'ont pas été remplis lors du coulage du revêtement intérieur.



Figure 1. Tunnel ferroviaire en Grèce



Figure 2. Tunnel avec compartimentage et tubes d'injection

2.5. Système monocouche avec protection mécanique et compartimentage, réparable

Ce système consiste à réaliser l'étanchéité sur le même principe que précédemment (avec compartimentage), sans la mise en œuvre de tubes d'injection perforés le long des joints de compartimentage, mais en y ajoutant un dispositif d'injection et une protection mécanique supérieure.

Des dispositifs d'injections répartis à l'intérieur des compartiments permettent d'une part d'identifier les zones qui présentent des pertes mais aussi d'injecter des mortiers de résines entre la géomembrane d'étanchéité et le revêtement intérieur (ou la membrane de protection) comblant les ouvertures et réparant ainsi l'étanchéité.

Sur les zones susceptibles de subir des agressions plus importantes, il est généralement installé une couche de protection mécanique en PVC-P étudiée spécifiquement pour sa résistance au poinçonnement et à la déchirure (figure 3).



Figure 3. Étanchéité de soutènement en Italie avec dispositif d'injection

Ce système, très utilisé en France par exemple, permet la limitation des infiltrations à la dimension du compartimentage, la réparation des dommages éventuels par injection mais ne permet pas de contrôle de l'intégrité de la couche d'étanchéité avant la fin de la phase constructive et son exploitation.

2.6. Système double-couche avec protection mécanique, compartimentage permettant un test au vide d'air et réparable

Les systèmes présentés précédemment ne permettent pas de réaliser des contrôles de l'efficacité du dispositif mis en œuvre avant la mise en service de l'ouvrage. Depuis quelques années, certains fournisseurs proposent des DEG qui offrent la possibilité de vérifier leur bon fonctionnement à tout moment : durant la réalisation, juste avant la mise en service ou même durant l'exploitation de l'ouvrage.

Ces systèmes consistent à mettre en œuvre un dispositif d'étanchéité constitué de 2 géomembranes PVC-P. La première géomembrane est disposée comme dans les systèmes précédents. La géomembrane supérieure est une membrane structurée (présentant des petits picots en surface) de manière à ne pas se coller à la première et à laisser libre circulation aux fluides entre les deux géomembranes. Elle est soudée aux joints de compartimentage et une enveloppe est ainsi formée entre les deux géomembranes. Le compartimentage sera de dimension inférieure à 100 m². Comme montré sur la figure 4, des pipettes sont installées afin de créer la possibilité soit d'injecter une résine à

l'intérieur de l'enveloppe, soit de réaliser un test au vide d'air à l'intérieur de cette dernière. Il est à noter que les pipettes sont mises en place sur la géomembrane visible conservant ainsi toute son intégrité à la géomembrane d'étanchéité la plus exposée.

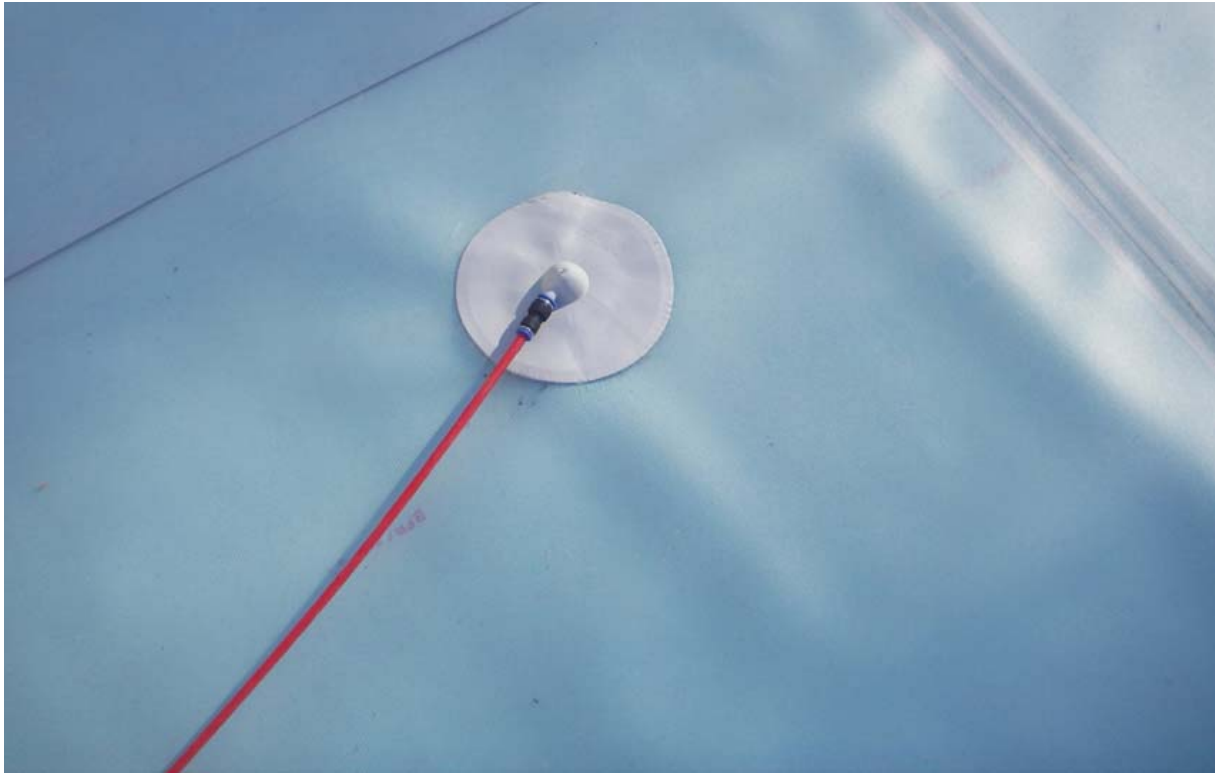


Figure 4. Pipette d'injection sur un système double couche

Ainsi, ce système autorise les contrôles des compartimentages par le vide d'air durant toutes les phases : durant la construction et pendant l'exploitation de l'ouvrage. Par ailleurs, il est facilement réparable par des injections peu onéreuses puisque les quantités à injecter sont limitées à l'espace compris entre les deux membranes à l'intérieur du compartimentage. En effet, l'injection progressive par les différentes pipettes d'injection permet de s'assurer que l'espace compris entre les deux géomembranes est comblé sans perte importante par le trou créé par la déchirure objet de la réparation.

Le DEG ainsi présenté assure la meilleure protection possible de l'ouvrage puisqu'il peut être intégralement contrôlé à tout moment.

3. Procédures de contrôle

Les contrôles peuvent être situés à différents niveaux. La qualification du personnel, le contrôle visuel et le contrôle des dispositifs mis en œuvre sont les points clés des procédures à suivre. Les procédures de contrôle doivent être mises en œuvre dans le cadre d'un PAQ (Plan d'Assurance de la Qualité) adapté au projet.

3.1. Qualification du personnel

L'élément le plus important est certainement la capacité des intervenants à réaliser de manière adaptée et sur les tâches dont ils ont la charge. Le premier des contrôles est donc la vérification de la qualification du personnel.

Il existe des organismes de certification, parmi lesquels l'ASQUAL fait référence en France.

L'ASQUAL propose des certifications pour les soudeurs, pour les chefs de chantier et des qualifications pour les entreprises.

Ces qualifications permettent un contrôle de connaissances en termes de technicité mais aussi de sécurité, facteur primordial dans les activités de construction souterraine.

3.2. Contrôle visuel

Tout au long de la construction, des contrôles visuels doivent être menés afin de vérifier l'adéquation entre les différentes phases de travaux et le respect des normes ou recommandations en vigueur.

3.2.1. Support

Le support ne doit pas présenter d'irrégularité trop importante et, dans les zones concernées, le béton projeté doit recouvrir entièrement les éventuels anneaux de soutènement et les creux ne doivent pas présenter de relief trop accidenté.

3.2.2. Couche géotextile

La couche de géotextile adaptée au support est fixée à ce dernier par cloutage avec mise en œuvre de rondelles PVC à rupture contrôlée.

3.2.3. Géomembrane(s) d'étanchéité

Les géomembranes PVC sont mises en œuvre par soudage aux rondelles PVC clouées lors de la pose de la couche géotextile avec suffisamment d'amplitude pour pouvoir s'adapter aux irrégularités du plan de pose. Lorsqu'il y a plusieurs couches superposées, elles sont liaisonnées par point de soudure au droit des fixations précitées.

3.2.4. Armatures

Les armatures ne doivent pas être mises en contact avec les géomembranes PVC. Il est donc impératif d'utiliser des cales de séparation. Le contrôle visuel est particulièrement important à ce niveau. En France, un écran de protection doit systématiquement être mis en œuvre au droit des armatures.

3.2.5. Profilés de compartimentage

Les profilés de compartimentage sont disposés soit à cheval des reprises de bétonnage soit au milieu des passes. Ces joints sont soudés sur la géomembrane sur l'ensemble de leur longueur.

3.3. Contrôle mécanique des soudures (non destructif)

Ce contrôle consiste à faire passer une pointe sèche prévue à cet effet (testeur de soudure) le long de la ligne de soudure en appliquant une pression afin de la faire pénétrer entre les géomembranes en cas de manque d'adhérence (figure 5).

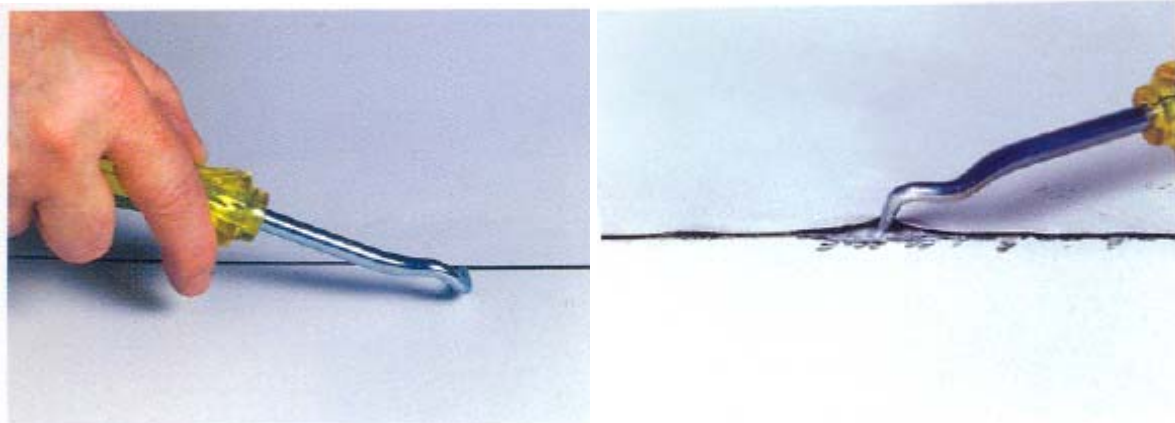


Figure 5. Contrôle de soudure par pointe sèche

3.4. Contrôle destructif des soudures

L'essai de pelage permet de vérifier les caractéristiques mécaniques d'une soudure.

Il consiste à soumettre à une traction unidirectionnelle une éprouvette de forme généralement rectangulaire et découpée perpendiculairement à une soudure. L'effort est appliqué d'une part sur le bord libre et d'autre part sur le bord excédentaire, côté soudure de l'autre côté.

L'examen porte sur la traction exercée et le mode de rupture

4. Procédure d'essais

4.1. Essais pneumatiques des soudures automatiques

Les soudures sont réalisées principalement avec des machines automatiques et présentent un canal central entre deux pistes de soudures. Cette disposition permet de réaliser un test pneumatique à l'intérieur de ce canal central en le fermant aux extrémités et en le mettant en pression (2 bars) durant 3 minutes minimum. La continuité de la soudure est ainsi vérifiée sur toute sa longueur (figure 6).

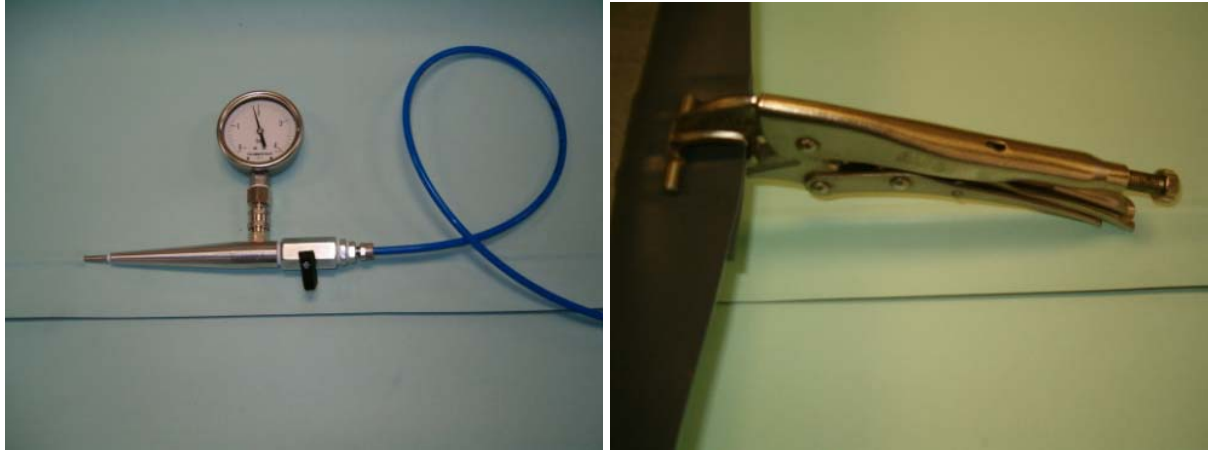


Figure 6. Contrôle de soudure par mise en pression du canal central

4.2. Essais des points triples par la cloche à vide

L'étanchéité des points triples peut être vérifiée grâce à l'utilisation de cloches à vide. Ces appareils sont constitués d'une demi-sphère transparente reliée à une pompe à vide qui permet de créer une dépression. L'essai est réalisé par la mise en dépression de la cloche à vide qui est placée sur la géomembrane au droit du point triple qui a été préalablement recouvert d'une solution savonneuse. Si l'étanchéité est défectueuse, des bulles vont signaler la position du défaut.

Cette méthode peut aussi être utilisée pour le contrôle des réparations manuelles locales.

4.3. Essais à vide des systèmes à compartiments « Vacuum »

Dans le cas où l'étanchéité a été réalisée avec un dispositif « Vacuum », on peut réaliser cet essai qui consiste à créer une dépression à l'intérieur du DEG. En raccordant les pipettes à une pompe à vide munie d'un manomètre (à valeurs négatives), on évacue l'air se trouvant entre les deux géomembranes (voir figure 7).

Cet essai permet de vérifier qu'il n'y a de fuite ni dans la géomembrane exposée à l'eau ni dans la géomembrane visible qui, elle, est exposée aux dégradations de chantier par exemple.

Cet essai peut être réalisé à la fin de la mise en œuvre des géomembranes, après bétonnage de l'ouvrage, au moment de la réception puis à tout moment de la vie de l'ouvrage pour s'assurer de l'intégrité du DEG (il peut en effet y avoir une géomembrane abîmée sans apparition d'humidité puisque la deuxième géomembrane assure alors son rôle d'étanchéité, ce que cet essai permet de détecter).

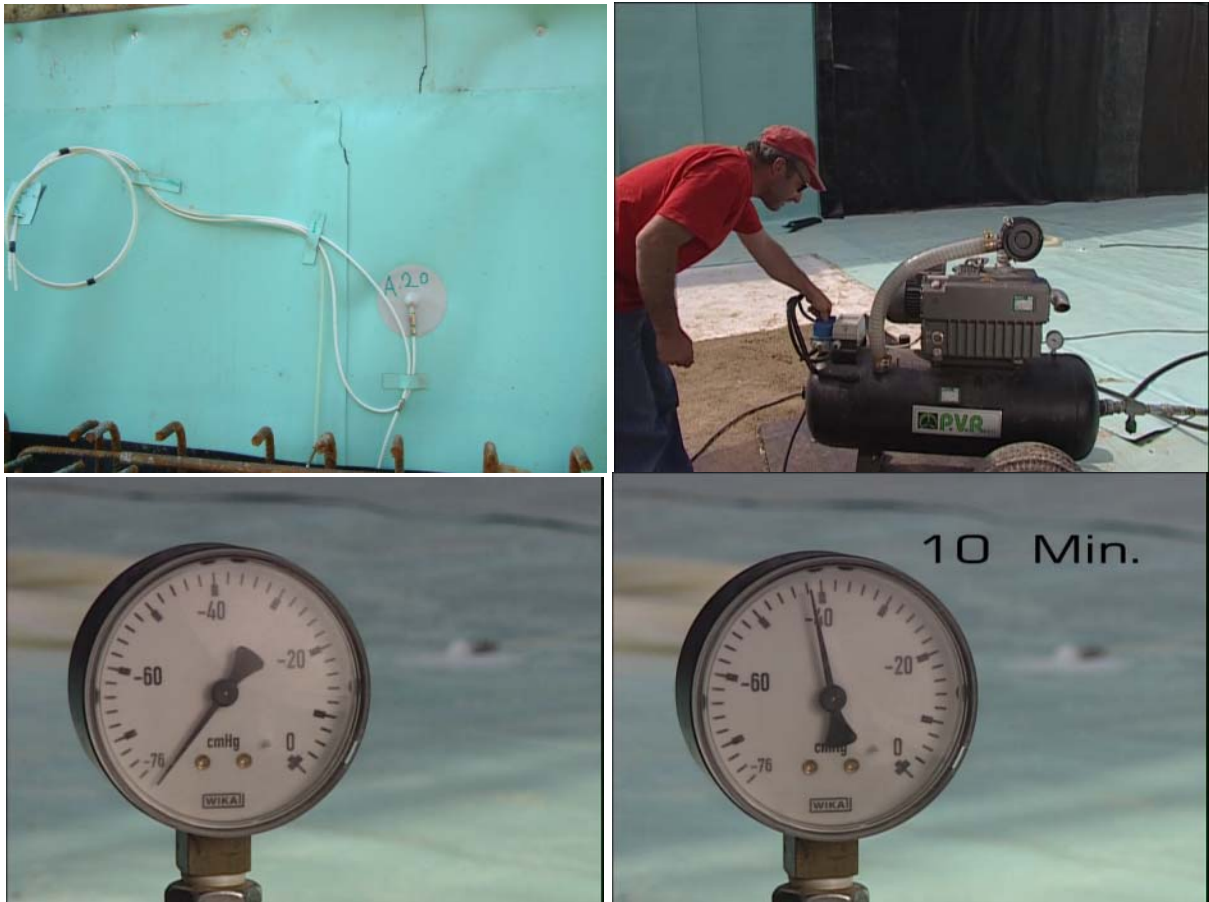


Figure 7. Essai au vide (pipettes d'injection, pompe et contrôles de pression)

5. Méthodes de réparation

5.1. Réparation par injection des joints

Dans le cas où des tubes perforés ont été installés le long des profilés de compartimentage, l'utilisation de ces tubes d'injection permet de combler les vides laissés lors de la mise en œuvre du béton et d'isoler complètement un compartiment. Ce n'est pas pour autant un moyen de réparation idéal dans tous les cas car il présente les inconvénients suivants :

- l'injection se fait par les bords du compartiment. Il est donc difficile de traiter l'ensemble de la surface ;
- l'injection est réalisée dans un espace non confiné et la quantité injectée n'est donc pas contrôlable car elle peut rentrer dans le terrain sans pour autant combler les espaces vides ;
- il est impossible de savoir quelles sont les zones qui ont été réellement traitées.

5.2. Réparation par injection en utilisant les pipettes

Dans le cas d'un système monocouche avec protection mécanique, compartimentage et réparable, les pipettes d'injections sont mises en œuvre de manière à pouvoir injecter chaque compartiment avec des résines polyuréthanes ou acryliques.

La répartition de ces pipettes en différents points de la surface du compartimentage permet de s'assurer que les injections pourront être réalisées sur l'ensemble de la surface (c'est une évolution par rapport à la méthode précédente). En revanche, l'injection se faisant toujours dans un espace non confiné, il est impossible de contrôler la quantité de résine à injecter puisqu'une partie peut se disperser dans le terrain.

5.3. Réparation des DEG double-couches

Dans le cas des DEG double-couche, la géomembrane visible est structurée (elle présente de petits reliefs qui la séparent de l'autre géomembrane et permet la circulation de fluide entre les deux géomembranes). L'injection est donc réalisée entre les deux géomembranes à partir d'une des pipettes et en vérifiant, par aspiration, par une autre pipette l'arrivée de liquide afin de s'assurer qu'il remplit entièrement la surface comprise entre les deux pipettes (figure 8).

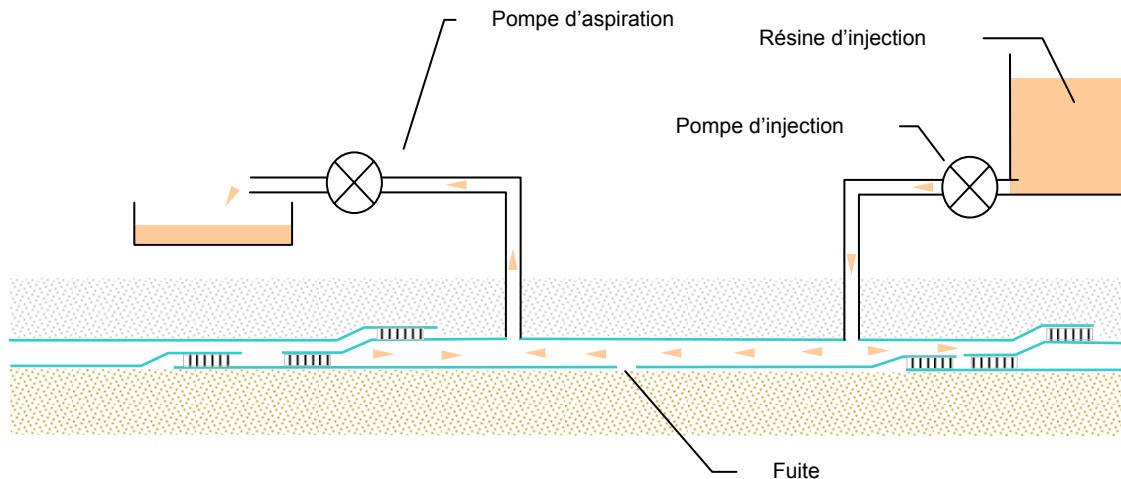


Figure 8. Réparation des DEG double-couche (injection / aspiration)

Les quantités injectées sont totalement maîtrisées puisqu'elles sont cantonnées à l'intérieur de l'enveloppe formée par les géomembranes et ne peuvent se disperser dans le sol. On peut s'assurer que toute la surface a été traitée grâce à la vérification de l'arrivée de liquide au droit de chaque pipette. La réparation est donc assurée.

6. Conclusions

Suivant leur constitution, les DEG offrent la possibilité d'être contrôlés et réparés de manière plus ou moins efficace. Cette capacité à être contrôlés et éventuellement à être réparés permet de comparer le niveau de sûreté de ces dispositifs.

Il revient donc au concepteur de faire une analyse de risque afin d'évaluer l'importance de l'étanchéité pour le projet et de déterminer les conséquences d'une fuite accidentelle. Si le projet se trouve toujours au dessus de la nappe et que des fuites ponctuelles peuvent être admises sans dommage pour la structure ou pour les équipements, il pourra utiliser des systèmes d'étanchéité simples et pour lesquels les contrôles ne seront pas poussés. Si, à l'autre extrême, le projet se trouve en permanence sous la nappe phréatique et que les structures ou les équipements sont mis en péril en présence d'eau, il devra se tourner vers des systèmes plus complets.

Cette approche originale permet l'obtention d'une réelle adéquation entre le système d'étanchéité et le projet. Cela permet une optimisation des coûts de construction et d'exploitation et des résultats proches des besoins réels des utilisateurs.

