

LA CERTIFICATION, UNE SOLUTION POUR MIEUX MAÎTRISER LA QUALITÉ DE MISE EN ŒUVRE DES GÉOMEMBRANES

CERTIFICATION, A SOLUTION TO MANAGE THE IMPLEMENTATION AND USE OF LINERS FOR WATERPROOFING

Jean-Louis MAHUET

Ingénieur expert EGIS rail – animateur du Groupe de Travail n°9 de l'Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain – AFTES

RÉSUMÉ : La mise en œuvre de Dispositifs d'Étanchéité par Géomembrane s'est considérablement amplifiée cette dernière décennie. La plupart des ouvrages souterrains et de génie civil de rétention d'eau ou de stockage de déchets solides ou liquides, utilisent désormais et très largement les géomembranes synthétiques et bitumineuses. Cette amplification a été soutenue sur le marché français par l'arrivée en grand nombre de produits et d'entreprises d'application. Cependant celle-ci a malheureusement été également à l'origine de l'émergence de nombreuses pathologies, susceptibles parfois de remettre en cause le choix des géomembranes comme solution pérenne d'étanchéité de ces ouvrages. La certification de produit et de service, ainsi que la qualification des entreprises d'application de géomembranes, apparaissent de plus en plus comme des solutions permettant notamment de mieux maîtriser la qualité de mise en œuvre des géomembranes.

Mots-clés : ouvrages souterrains, ouvrages de génie civil, rétention d'eau, stockage des déchets, géomembranes, certification, qualification, ASQUAL, soudures, pathologies, mise en œuvre.

ABSTRACT: The use of liners for waterproofing has considerably increased over the last decade. Most of underground or civil engineering structures for water retention or for the storage of solid or liquid waste include synthetic and bituminous liners. On the French market this increase has been sustained by the arrival of a large number of products and specialised companies. However this has also been the cause of many problems, which could undermine the decision to use liners as a long term solution for the waterproofing of these structures. The certification of these products or services, as well as the companies specialised in the fitting of liners would appear to be solutions to better control their use.

Keywords: underground works, civil engineering works, water retention, waste storage, liners, certification, soldering, ASQUAL, problems, use

1. Le contexte

La mise en œuvre de Dispositifs d'Étanchéité par Géomembrane (D.E.G.) s'est considérablement développée depuis la fin des années 1960 en France pour assurer l'étanchéité des ouvrages souterrains du type : tunnels et tranchées couvertes. Celle-ci s'est ensuite progressivement étendue aux ouvrages de génie civil de type : bassins de rétention d'eau pluviale ou de stockage pour usage agricole ou de défense incendie, canaux, barrages, STEP, stockage de déchets solides ou liquides, plate-formes routières ou ferroviaires.

Ce développement a tout naturellement été à l'origine de l'arrivée sur le marché français d'une multitude de géomembranes et surtout d'un très grand nombre d'entreprises d'application de géomembranes, de tailles et surtout de compétences extrêmement variables.

Les principaux D.E.G. mis en œuvre, depuis 1968 (Tunnel de Fourvière à Lyon), étaient soit à base de géomembrane synthétiques, soit à base de géomembranes bitumineuses. Par type de D.E.G., les principales familles chimiques utilisées à l'époque étaient les suivantes :

- D.E.G. synthétiques : géomembranes P.V.C-P (armées ou non armées pour l'utilisation en ouvrages souterrains) – P.E.H.D – P.P.F – E.P.D.M
- D.E.G. bitumineux : géomembranes en bitume oxydé ou en bitume polymères.

Les débuts de l'application de ce procédé d'étanchéité ont été marqués, notamment pour les ouvrages souterrains, par de nombreux sinistres qui ont entraîné des coûts de réparation très importants. Les conséquences d'un problème de produit d'étanchéité ou d'application de celui-ci sont tout naturellement immédiates pour un ouvrage souterrain car elles se traduisent à très court terme par des infiltrations d'eau, susceptibles de mettre en cause la destination, voire la solidité de l'ouvrage (figure 1). Une étude de l'A.F.T.E.S, publiée fin 1970, indiquait que ces coûts de réparation,

principalement à l'aide d'injection de coulis chimiques, pouvaient atteindre entre 15 et 20 % du montant initial des travaux d'étanchéité d'un ouvrage souterrain. L'A.F.T.E.S avait à l'époque proposé, comme cause probable de ces sinistres, l'absence de référentiels techniques définissant et spécifiant plus précisément les géomembranes d'étanchéité d'ouvrages souterrains. À noter également comme origine probable et importante de ces sinistres, le recours systématique à l'époque au choix de l'entreprise la moins disante, même si celle-ci n'avait aucune référence dans le domaine de l'étanchéité des ouvrages souterrain, discipline il est vrai toute récente à cette époque. À titre d'exemple et peut être d'anecdote, il n'était pas rare de rencontrer sur des chantiers pourtant prestigieux, des soudeurs de géomembrane synthétique qui la veille étaient boucher ou coiffeur !

La publication en 1992 du Fascicule 67 – Titre III du Cahier des Clauses Techniques Générales « Etanchéité des ouvrages souterrains », associée avec l'arrivée sur le marché de tentatives de certifications « maison » des soudeurs de géomembranes synthétiques du type SEMALY (devenu EGIS Rail) à la même époque ont eu un effet bénéfique pour l'étanchéité des ouvrages souterrains. Une communication du GT n°9 de l'A.F.T.E.S, présentée en 1995 aux journées internationales des Tunnels de Chambéry a notamment mis en exergue la mise en place systématique de véritables Plans d'Assurance Qualité, spécifiques aux travaux d'étanchéité, avec en corolaire la mise en place d'une certification « officielle » des soudeurs de géomembranes synthétiques.



Figure 1. Conséquence de désordres d'étanchéité en cas de gel.

Les ouvrages, notamment de rétention d'eau pluviale, routiers et autoroutiers ont connu également les mêmes problèmes de produits d'étanchéité et de mise en œuvre que ceux décrits ci-dessus pour les ouvrages souterrains. Cependant, leurs conséquences en termes de fuites étant moins visibles et moins prégnantes que pour les ouvrages souterrains, elles ont été mises en évidence beaucoup plus tard. Celles-ci étaient il est vrai moins importantes au niveau des coûts de réparation et de leur impact sur la destination de l'ouvrage, même si celui au niveau par exemple de l'environnement devait certainement être particulièrement avéré. C'est en fait, au début des années 1990, que la profession a commencé à recenser les pathologies afférentes aux géomembranes (produit et mise en œuvre) et à œuvrer, sous l'impulsion du Comité Français de Géosynthétiques (C.F.G), de l'Association Française des Applicateurs de Géomembranes (A.F.A.G) et de l'Association française des Producteurs de géomembranes (A.P.R.O.D.E.G), à la mise en œuvre d'une certification française de produits et de service, spécifiques aux géosynthétiques.

Les causes probables des sinistres d'étanchéité relevés d'une manière générale sur les ouvrages de génie civil sont identiques à celles constatées pour les ouvrages souterrains, à savoir l'absence de référentiels techniques définissant et spécifiant plus précisément les géomembranes d'étanchéité. Autre cause également constatée dans les contentieux, celle du recours plus ou moins systématique au choix de l'entreprise la moins disante, même si celle-ci ne possédait pas une certification de service, du type soudage pourtant applicable à ces ouvrages, bien avant les ouvrages souterrains.

2. Présentation des pathologies spécifiques à la mise en œuvre des géomembranes.

Cette communication n'a pas pour objet de reprendre les nombreuses études et communications déjà publiées à ce sujet. Elle se limite à un rappel sommaire des pathologies relevées au niveau de l'utilisation des D.E.G pour l'étanchéité des ouvrages souterrains et de génie civil. Elle se propose ensuite de rappeler notamment des études de l'A.F.T.E.S et de la SEMALY qui se sont plus particulièrement attaché à caractériser cette pathologie.

2.1. Pathologie inhérente à la famille chimique de la géomembrane

Par type de D.E.G et par familles chimiques de géomembrane, les principales pathologies observées et recensées sont sommairement les suivantes :

- **D.E.G synthétiques :**

- *PVC-P - Chlorure de Polyvinyle Plastifié :*

- pour les ouvrages souterrains : variation de la nature et du dosage des plastifiants – défauts ponctuels d'aspect de surface liés à la fabrication ou pour les géomembranes translucides par un blanchiment provoqué par une prise en eau, par exemple par l'attente de géomembrane avant soudure.
- Pour les ouvrages de génie civil et pour les zones de géomembrane exposées au rayonnement UV (géomembranes insuffisamment stabilisées aux U.V) déplastification de la géomembrane se concrétisant par des déchirures de la géomembrane au niveau des dispositifs de fixation ou de raccordement aux ouvrages hydrauliques. Pour des géomembranes exposées à des températures très basses, non armées ou insuffisamment armées, retrait important se concrétisant également par des déchirures au niveau des dispositifs de fixation du D.E.G. À noter également, pour les premières géomembranes mises en œuvre, une moindre résistance chimique, principalement vis-à-vis des hydrocarbures. Des problèmes de fabrication du type délamination de l'armature du fait d'une couche insuffisante de PVC, ou du caractère hydrophile de l'armature, peuvent être également constatés (figure 2). Caractéristiques de soudabilité altérées notamment par le changement de la nature ou du dosage du plastifiant.

- *P.E.H.D – Polyéthylène Haute Densité:*

- Pour les ouvrages souterrains : famille chimique non utilisée en France.
- Pour les ouvrages de génie civil : pour les zones exposées à de fortes pentes et à des gradients thermiques important, dilatation importante de la géomembrane susceptible de générer des plis pouvant nuire à l'exploitation de l'ouvrage. En cas de supports particulièrement agressifs et en cas de dimensionnement insuffisant de la protection inférieure du D.E.G, sensibilité de la géomembrane au « stress cracking » et au poinçonnement statique.

- *P.P.F – Polypropylène Flexible*

- Pour les ouvrages souterrains : cette famille chimique est représentée par celle des Copolymères d'Éthylène Flexibles (E.C-F). Les principaux désordres constatés au niveau de la géomembrane, également translucide, sont le blanchiment provoqué par une prise en eau avant la soudure et un « durcissement » de la géomembrane par temps froid, rendant plus difficile sa mise en œuvre et sa soudure.
- Pour les ouvrages de génie civil (P.P.F) : par fortes températures et sur de fortes pentes, « festonnage » des bords de la géomembrane lors de la thermo-soudure. En cas d'utilisation de géomembranes « anciennes », difficulté de soudage liée à une oxydation prématurée du matériau.

- *E.P.D.M – Éthylène Propylène Dième Monomère :*

- Pour les ouvrages souterrains : famille chimique non utilisée en France.
- Pour les ouvrages de génie civil : difficulté de collage des lès de géomembrane par temps froid et humide.

- **D.E.G bitumineux :** pour les ouvrages souterrains, les D.E.G bitumineux ne sont utilisés que pour l'étanchéité des tranchées couvertes. Dans ce cas, seules les géomembranes à base de bitume polymère sont autorisées. Pour les deux types de géomembrane, bitume oxydé ou bitume polymère, sensibilité au poinçonnement statique en cas de support trop agressif et aux

raccordements avec les ouvrages hydrauliques par conditions extrêmes de température (figure 3).



Figure 2. Altération de géomembrane PVC-P

Figure 3. Poinçonnement d'une géomembrane bitumineuse

2.2. Pathologie liée à la mise en œuvre de la géomembrane

Tous ouvrages et toutes familles chimiques confondus, les pathologies les plus fréquentes constatées à la mise en œuvre des géomembranes sont, dans l'ordre décroissant les suivantes :

- mauvaise réalisation des soudures en surface courante, figure 4.
- mauvaise réalisation des soudures des points singuliers, figure 5.
- mauvais raccordement aux ouvrages hydrauliques ou de génie civil, figure 6.
- mauvaise réalisation des tranchées d'ancrage du D.E.G, figure 7.



Figure 4. Défaut de soudure en surface courante

Figure 5. Défaut de soudure au niveau d'une pièce



Figure 6. Mauvais raccordement aux ouvrages Figure 7. Ancrage insuffisant de la géomembrane

Une grande partie de ces pathologies, et plus particulièrement celles débouchant sur des défauts majeurs d'étanchéité, proviennent en premier lieu d'une méconnaissance partielle ou totale de la nature de la géomembrane et de sa spécificité en matière de mise en œuvre.

2.3. Caractérisation des pathologies des géomembranes

Cette caractérisation est proposée à partir des études réalisées d'une part par l'AFTES pour les ouvrages souterrains et par EGIS pour les ouvrages de génie civil.

2.3.1. Ouvrages souterrains

Cette caractérisation a fortement évolué avant 1983, période qui correspondait à la mise en œuvre de géomembrane d'étanchéité à base de PVC-P opaque (figure 8), soudée essentiellement manuellement et après 1983 avec la mise en œuvre de géomembranes translucides, soudées majoritairement à l'aide de machines automatiques (figure 9).

Une étude réalisée par la SEMALY en 1976, après la réalisation de la Ligne A du métro de Lyon et sur la base des premiers contrôles extérieurs réalisés en France sur un ouvrage souterrain, donnait la répartition de désordres suivante :

- désordres imputables à la géomembrane : 25 % des désordres, dont essentiellement des problèmes de fabrication ;
- désordres imputables à la mise en œuvre de la géomembrane : 75% des désordres, dont 15 % liés à la mise en œuvre du D.E.G (attentes de longueur insuffisante et insuffisamment protégées) et 60 % au niveau de la soudure des lés de géomembrane, soudures comme indiqué ci-avant, réalisées essentiellement à la main (figure 8).



Figure 8. Géomembrane opaque soudée à la main
– simple soudure

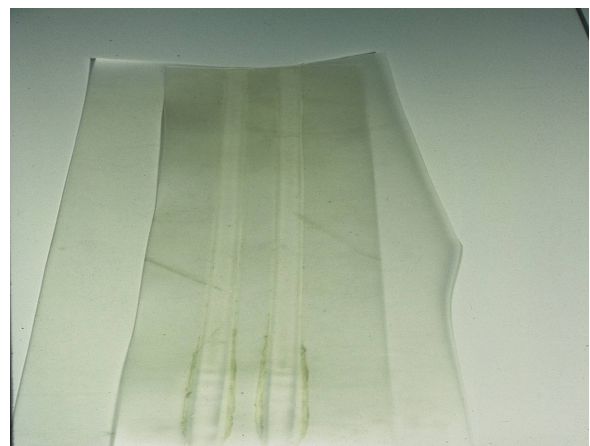


Figure 9. Géomembrane translucide soudée à la machine automatique - double soudure

L'étude de l'A.F.T.E.S, présentée aux Journées internationales de Chambéry en octobre 1996, c'est-à-dire après la publication du fascicule 67 – Titre III du CCTG qui, notamment, généralisait la mise en œuvre de géomembrane translucide, donnait une répartition des désordres très différente :

- désordres imputables à la géomembrane : 5 % des désordres, dont 4 % liés à des défauts de fabrication du type épaisseur, aspect de surface (translucidité < à 70%), etc. et 1 % lié à des variations et des provenances de plastifiants différentes ;
- désordres imputables à la mise en œuvre de la géomembrane : 95 % des désordres, dont 45 % liés à la soudure de la géomembrane et 50 % à la mise en œuvre du D.E.G (avec essentiellement des désordres provenant toujours du mauvais traitement des attentes de géomembrane avant soudure). À noter que des défauts du type « mauvaise fixation de la protection inférieure en géotextile, avec désaffleurement de la tête de fixation » se sont multipliés du fait de la translucidité de la géomembrane.

2.3.2. Ouvrages de génie civil

Cette caractérisation est moins précise que celle réalisée pour les ouvrages souterrains, les enjeux en termes de conséquences de fuites de l'étanchéité (sauf exception d'ouvrages en zone très sensibles) étant moins importants. De plus celle-ci a été menée par EGIS essentiellement sur les bassins de rétention d'eau pluviale autoroutiers.

Une étude réalisée par SEMALY en 1995 pour le compte de S.A.P.R.R. sur les désordres affectant ses bassins (autoroutes : A 42 et A 43) donnait la répartition suivante :

- désordres imputables à la géomembrane : 20 %, dont environ 15 % liés à une mauvaise stabilisation de la géomembrane aux UV ou aux températures basses. À noter également pour les géomembranes armées, soit un enrobage insuffisant de l'armature, soit sous l'effet du gel des problèmes de délaminage de l'armature, générés par le caractère hydrophile de celle-ci ;
- désordres imputables à la mise en œuvre de la géomembrane : 80% des désordres, dont 55 % liés à la réalisation des soudures aussi bien automatiques que manuelles, 20 % liés à un mauvais raccordement de la géomembrane aux ouvrages de génie civil (ouvrages hydrauliques d'arrivée ou de sortie d'eau) et 5% liés à une mauvaise réalisation des tranchées d'ancrage.

Cette étude mettait en évidence la part prépondérante prise par la réalisation des soudures dans la qualité finale de l'étanchéité des bassins. Avant 1995 et comme pour les ouvrages souterrains, ces opérations de soudage étaient réalisées par du personnel pas forcément qualifié, voire même parfois et sans porter de jugement de valeur, directement par le terrassier. À titre d'exemple et toujours à titre anecdotique, on pouvait entendre, il y a moins de dix ans, sur le chantier d'étanchéité d'une importante STEP de l'Est de la France, « que la qualité d'exécution de la soudure n'était pas si importante que ça, le poids de l'eau se chargeant de la rendre définitivement étanche » !

Le constat fait pour ces deux types d'ouvrage, constat déjà établi dans de nombreuses études publiées à ce sujet, est que la mise en œuvre reste encore et plus que jamais le principal facteur de non qualité dans la mise en œuvre d'une géomembrane.

3. La certification une solution pour mieux maîtriser la mise en œuvre des géomembranes

3.1 Le contexte

Depuis le début des années 1990, la profession s'est progressivement dotée, au sens large du terme, de référentiels techniques, destinés à l'aider dans le choix, le dimensionnement, la mise en œuvre et le contrôle d'application des géomembranes. L'établissement de ces référentiels techniques a été très différent entre les ouvrages souterrains, rappelons-le beaucoup plus exposés en cas de défauts de la géomembrane, et les ouvrages de génie civil.

Comme on le verra plus loin, la publication de ces référentiels techniques, ainsi que leur contractualisation, notamment dans les marchés publics d'étanchéité par géomembrane, a indéniablement fait progresser la qualité de mise en œuvre et, par conséquent, fortement diminué le nombre de désordres et donc de sinistres et de contentieux.

3.2. La démarche retenue pour l'étanchéité des ouvrages souterrains

Les référentiels techniques applicables à l'étanchéité par géomembrane des ouvrages souterrains sont relativement nombreux. Les plus importants sont les suivants :

- Fascicule 67 – Titre III du C.C.T.G « Étanchéité des ouvrages souterrains ». Édité en 1992, il est

actuellement en cours de révision et d'actualisation, notamment pour intégrer le mieux possible la norme européenne NF EN 13491 (Juillet 2005) Géomembranes. Géosynthétiques bentonitiques. « Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des tunnels et ouvrages souterrains ». Il constitue un support essentiel pour la maîtrise d'œuvre pour la spécification de la géomembrane (nature chimique – dimensionnement – caractéristiques physico-chimiques, etc.) et la prescription de mise en œuvre et de son contrôle.

- Avis Technique du Centre d'Étude des Tunnels (C.E.T.U) qui vient utilement compléter le Fascicule 67 en étant un avis de professionnels sur le domaine d'usage d'un procédé d'étanchéité pour ouvrages souterrains. D'une durée de 5 ans, cet Avis Technique permet avant tout de rassurer le prescripteur sur la régularité et la qualité de fabrication de la géomembrane et surtout sur sa conformité aux spécifications minimales du Fascicule 67. Cette complémentarité entre ces deux référentiels n'existe en France que pour l'étanchéité des ouvrages souterrains et c'est pour cette raison que la certification de produit, du type ASQUAL, n'a pas été retenue pour la partie spécification des D.E.G.
- Recommandations du Groupe de Travail n°9 de l'A.F.T.E.S pour la mise en œuvre des procédés d'étanchéité dans les ouvrages souterrains. Depuis le début des années 1980, c'est plus de 26 recommandations techniques majeures qui ont été publiées par la revue officielle de l'A.F.T.E.S, Tunnels et Ouvrages Souterrains (T.O.S). Ces recommandations professionnelles ont le statut de référentiel technique et dans le cadre de marchés publics, elles sont désormais systématiquement spécifiées dans le Cahier des Charges Technique Particulier (C.C.T.P.).

La partie « conception et spécificatrice de la géomembrane », en conformité complète avec la réglementation européenne en vigueur, ce qui était une exigence forte de l'administration française, est désormais entièrement prise en charge par les référentiels techniques rappelés ci-dessus. Cependant la partie « mise en œuvre » et les exigences concernant par exemple les compétences à exiger des applicateurs de géomembrane n'étaient que très partiellement abordées.

Cette lacune de la réglementation française posait problème, d'autant plus que l'étude de l'A.F.T.E.S, présentée aux Journées internationales de Chambéry en octobre 1996, mettait bien en évidence le fait que 95 % des désordres étaient entièrement imputables à la mise en œuvre du D.E.G et dans une certaine mesure à l'absence ou à l'insuffisance des contrôles de mise en œuvre. La multiplication des sinistres qui s'est produite dans le début des années 1990, principalement avec la construction d'ouvrages souterrains de grande profondeur, soumis à des pressions hydrostatique de service, a conduit la profession à se doter d'une procédure officielle d'agrément du personnel de mise en œuvre des D.E.G.

C'est ainsi que tout naturellement, et avec l'accord de son Comité Technique, l'A.F.T.E.S s'est rapproché de l'ASQUAL, début des années 2000 pour créer une certification de service « Application de géomembrane » spécifique aux ouvrages souterrains. Cette certification ASQUAL, initiée par le C.F.G, a été largement présentée notamment lors des précédentes Rencontres Géosynthétiques. C'est pour cette raison que je ne rappellerai brièvement que les particularités de son application aux ouvrages souterrains :

- Certification de service « Application de géomembranes » visant les applications de géomembranes telles qu'elles sont définies dans la norme NF P 84500. Elle ne concerne que les géomembranes manufacturées sous forme de lés, destinées à être assemblées par thermo-soudage pour réaliser l'étanchéité des ouvrages souterrains.
- Certification de service applicable aux familles de produits suivants :
 - Géomembrane synthétique : PVC-P et EC-F
 - Géomembrane bitumineuse : uniquement à base de bitume polymère.
- Organisation de la certification de service applicable aux ouvrages souterrains :
 - Épreuve théorique, pour vérifier, par l'intermédiaire d'un QCM spécifique aux ouvrages souterrains, le niveau de connaissance du candidat soudeur. Comme nous l'avons vu précédemment, cette vérification est indispensable à l'amélioration de la qualité de la mise en œuvre des D.E.G.
 - Épreuve pratique : réalisation en atelier ou directement sur le chantier de soudures manuelles et automatiques. Le référentiel technique ASQUAL spécifique aux ouvrages souterrains fixe les conditions maximales d'acceptation en termes de largeur minimale de soudure, de résistance moyenne et minimale au pelage et de mode de rupture de l'éprouvette.

Cette certification ASQUAL a suivi ensuite la procédure d'application suivante :

- Information de la profession sur la mise en place de la certification de service « Application de géomembrane » ASQUAL, publiée dans la revue Tunnels et Ouvrages Souterrains n°162 de

décembre 2000 « Une certification française pour les travaux d'étanchéité des ouvrages souterrains ».

- Recommandations du Comité Technique de l'A.F.T.E.S du 9 novembre 2000 : certification applicable aux marchés publics de travaux d'étanchéité d'ouvrages souterrains à partir du 1^{er} janvier 2001. Certification exigible aux marchés publics au 1^{er} janvier 2002.

Depuis, cette certification est exigée systématiquement dans tous les marchés publics d'étanchéité d'ouvrages souterrains. Les suites attendues de cette démarche volontaire de la profession sont les suivantes :

- Application de la certification de service « responsabilité de chantier » à partir du 1^{er} janvier 2012.
- Application de la Qualification ASQUAL « mise en œuvre des géomembranes » à partir de 2015.

3.3. La démarche retenue pour l'étanchéité des ouvrages souterrains

Les référentiels techniques applicables à l'étanchéité par géomembrane des ouvrages de génie civil sont moins nombreux et, contrairement aux ouvrages souterrains, ces ouvrages ne sont pas couverts par un Fascicule du C.C.T.G. Les plus marquants sont les suivants :

- Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géomembrane C.F.G – Fascicule n° 10 – 1991.
- Procédures de certification des géomembranes SETRA – note d'information n° 107 – mai 1999.
- Guide Technique du SETRA/LCPC – novembre 2000 « Étanchéité par géomembrane des ouvrages pour les eaux de ruissellement routiers ».

À cette liste il conviendrait également de rajouter des recommandations professionnelles rédigées directement par la profession du type : Vade-mecum de l'A.F.A.G. À noter également la publication par l'administration de textes concernant des applications plus spécifiques à l'étanchéité des stockages de déchets ou celle des ouvrages hydrauliques du type canaux et barrages.

Ces documents, à part le Guide technique du SETRA/LCPC de novembre 2000, ne proposent pas précisément de spécifications concernant les principales caractéristiques physico-mécaniques à intégrer dans un marché public de travaux d'étanchéité. La publication et l'application des normes européennes désormais applicables à l'étanchéité, du type : NF EN 13361 pour les réservoirs et barrages – NF EN 13362 pour les canaux – NF EN 13492 pour le stockage des déchets liquides – NF EN 13493 pour le stockage des déchets liquides et NF EN 13582 pour les transports routiers et ferroviaires, rendent désormais obsolètes la plupart des référentiels techniques listés ci-dessus.

Dans l'attente d'une hypothétique actualisation de ces référentiels, notamment vis-à-vis des normes européennes rappelées ci-dessus, la certification de produit ASQUAL est devenue pour la profession une aide précieuse pour la conception de l'étanchéité des ouvrages de génie civil.

Cette certification n'a certes pas pour objectif de garantir des performances au niveau de la géomembrane, mais de rassurer le prescripteur sur sa conformité à une famille chimique et sur sa régularité de fabrication, conformément au référentiel technique de l'ASQUAL.

L'apparition d'abord de la certification de service « Application de géomembranes » et ensuite de « Responsabilité de chantier » a séduit la profession, car celles-ci constituaient une excellente promotion de leur savoir-faire et un moyen efficace de se démarquer des « poseurs de géomembranes à bas prix ».

La certification de service « Application de géomembranes » concerne à ce jour plus de 300 soudeurs en France. Elle a été utilement complétée par la certification de service « Responsabilité de chantier » et tout récemment par la qualification ASQUAL « Mise en œuvre de géomembrane ».

Cependant, et contrairement aux ouvrages souterrains et malgré les recommandations du SETRA pour les ouvrages de rétention d'eau pluviale routiers, il n'existe pas encore de texte « officiel » imposant par exemple pour les marchés publics l'obligation de la certification ASQUAL, de produit et de service.

Cette « obligation » a par contre été volontairement spécifiée par des ingénieries françaises, ce notamment fut le cas pour le groupe EGIS qui, dès 2005, l'a contractualisé dans tous ses Fascicules et CCTP consacrés à l'étanchéité par géomembrane de tous les ouvrages de génie civil.

3.4. Les premiers résultats de la certification

Plusieurs études ont été faites pour évaluer l'impact de la certification sur la qualité de mise en œuvre des géomembranes. Celles-ci ont le plus souvent été menées à partir des observations formulées par exemple par le contrôle extérieur, lorsque celui-ci était souhaité par le Maître d'Ouvrage.

3.4.1. Ouvrages souterrains

Dans la mesure où le contrôle extérieur est, depuis une vingtaine d'années, systématiquement appliqué dans les marchés publics de travaux d'étanchéité, l'impact de l'application de référentiels techniques et notamment de la certification a été plus facile à étudier. Les constats faits par le Groupe de Travail n°9 de l'A.F.T.E.S en 2005 sont les suivants :

- L'obligation de la certification de service « Application de géomembranes » est bien respectée dans tous les marchés publics, voire même privés, d'étanchéité des ouvrages souterrains (extension par exemple aux parkings souterrains).
- L'importance des désordres relevée par le contrôle extérieur est la suivante :
 - Désordres liés à la géomembrane : 0 % - la spécification concernant l'obligation pour le procédé d'étanchéité d'être couvert par un Avis Technique CETU est bien sûr prépondérante dans l'obtention de ce résultat.
 - Désordres liés à la mise en œuvre de la géomembrane : 40 % dont :
 - Soudures automatiques : 0 %
 - Soudures manuelles : 60 % (réalisation des points singuliers – pièces de pontage, etc.)
 - Désaffleurement des têtes de fixations mécaniques de la géomembrane en tunnel : 20 %
 - Mauvais traitement des attentes de l'étanchéité : 20% (longueur et protections insuffisantes)
 - Désordres liés aux interventions du Gros Œuvre : 60 %, dont :
 - Percement accidentels du D.E.G lors des opérations de ferrailage, utilisation de chalumeaux, bétonnage, stockage directement contre la géomembrane (figure 10) et remblaiement pour les tranchées couvertes : 90 % ;
 - Mauvaise préparation des supports : 10 % (présence de fibres métalliques dans le béton projeté de soutènement, rugosité et planimétrie du support non-conforme, etc.).

Pour les ouvrages souterrains, l'impact de la certification, essentiellement de service, est très positif et a fortement contribué à l'amélioration de la qualité de mise en œuvre de la géomembrane. Le pourcentage de désordres imputables à la mise en œuvre est en constante diminution. Ils ne concernent plus que la réalisation des soudures manuelles, ce qui doit interpeller les entrepreneurs, même si le linéaire de soudure manuelle ne dépasse pas 1 à 2% du linéaire total des soudures réalisé sur un ouvrage souterrain, c'est cependant suffisant pour être ultérieurement à l'origine d'un désordre d'étanchéité.

Cet impact peut également se mesurer par rapport aux coûts de réparation avant réception de l'ouvrage qui à ce jour se limitent à :

- moins de 1 % du montant initial des travaux d'étanchéité pour les ouvrages à étanchéité partielle – sans pression hydrostatique permanente ;
- de 3 à 5 % du montant initial des travaux d'étanchéité (contre 15 à 20% relevés en 1970) pour les ouvrages à étanchéité totale – avec pression hydrostatique permanente.

La responsabilité du Gros Œuvre n'est pas nouvelle et avait déjà été mise en exergue par l'A.F.T.E.S lors de la réalisation des ouvrages souterrains du TGV Méditerranée (début des années 1990). L'analyse de récents contentieux juridiques apparus ces dernières années, principalement sur des ouvrages soumis à pression hydrostatique permanente, confirme cette responsabilité. La mise en place du masque de bétonnage (figure 10) reste pour les tunnels la principale origine de désordre, susceptible de conduire à des infiltrations plus ou moins significatives.

L'A.F.T.E.S s'emploie, avec la profession, à réduire cette responsabilité du Gros Œuvre, par des actions d'information et de sensibilisation sur la sensibilité des géomembranes, notamment aux poinçonnements, et en publiant des recommandations visant à améliorer la préparation des supports et le dimensionnement des protections inférieures et supérieures des D.E.G.



Figure 10. Stockage anarchique sur le D.E.G.



Figure 11. Importance du masque de bétonnage

3.4.2. Ouvrages de génie civil

Ce constat sera moins exhaustif que celui présenté ci-dessus pour les ouvrages souterrains, car il n'est établi qu'à partir des observations formulées par des missions de contrôle extérieur, réalisées par SEMALY/EGIS rail depuis une quinzaine d'années. Il concerne cependant les ouvrages suivants : bassins de rétention d'eau pluviale routiers et industriels – retenues d'eau collinaires et de fabrication de neige de culture – stockage de déchets solide et liquide – plate-forme ferroviaire, etc.

Les principales observations qui découlent de l'analyse des rapports de contrôle extérieur sont les suivantes :

- l'obligation d'une certification de produit ou de service est loin d'être systématique, y compris pour des marchés publics. Sur l'ensemble des chantiers contrôlés par SEMALY/EGIS Rail, cette proportion est d'environ 60% des chantiers avec certification et 40% sans certification ;
- l'importance des désordres relevée par ce contrôle extérieur est la suivante :
 - Désordres liés à la géomembrane : 5%. Ceux-ci se retrouvent principalement au niveau des chantiers sans demande de certification de produits. Ils concernent essentiellement des problèmes d'aspect de surface (figure 2).
 - Désordres liés à la mise en œuvre de la géomembrane : 70 %, dont :
 - Soudures automatiques : 0 % pour les entreprises certifiées et jusqu'à 20 à 30 % pour les entreprises non certifiées.
 - Soudures manuelles : 70 % (réalisation des points singuliers – traitement des angles - pièces de pontage, etc.). Ce pourcentage est relativement beaucoup plus important pour les entreprises non certifiées. Il n'est pas rare de déceler systématiquement un manque de soudure au niveau de pratiquement toutes les soudures manuelles (figure 12).
 - Mauvais raccordements à la tranchée d'ancrage (longueur d'ancrage insuffisante) ou aux ouvrages de génie civil : 30% (longueur de raccordement ou dispositifs de serrage mécanique non adaptés).
 - Désordres liés aux interventions du terrassier ou du gros-œuvre : 25 %, dont :
 - Mauvaise préparation du support (figure 13).
 - Dimensionnement insuffisant des tranchées d'ancrage.
 - Endommagement accidentel de la géomembrane lors de la mise place de la couche de protection, soit en béton, soit en terre.

Comme pour les ouvrages souterrains, ce bilan de prestations de contrôle extérieur permet de constater que l'impact de la certification de produit et de service est très positif et a également contribué à l'amélioration de la qualité de mise en œuvre de la géomembrane. Le pourcentage de désordres imputables à la mise en œuvre est en constante diminution (pour les entreprises certifiées). Comme pour les ouvrages souterrains, il ne concerne que la réalisation des soudures manuelles, ce qui doit également interpellier les entrepreneurs, même si le linéaire de soudure manuelle ne dépasse pas 2 à 3% du linéaire total des soudures réalisé sur un ouvrage de génie civil, ce qui est également suffisant pour être ultérieurement à l'origine d'un désordre d'étanchéité.

La responsabilité du terrassier ou du Gros Œuvre n'est également pas nouvelle. Cependant, la publication par exemple du Guide Technique du SETRA/LCPC – novembre 2000 « Étanchéité par géomembrane des ouvrages pour les eaux de ruissellement routiers », donne à la maîtrise d'œuvre des pistes à suivre pour, par exemple, le contrôle et la réception des supports avant application du D.E.G. Son actualisation est par conséquent indispensable pour adapter cette préparation par rapport aux

D.E.G proposés. Comme pour les ouvrages souterrains la mise en place par la profession d'actions d'information et de sensibilisation des entreprises de terrassement ou de Gros Œuvre, mais aussi en direction des Maîtres d'Œuvre et pourquoi pas des Maîtres d'Ouvrage, est assurément à mettre en place.



Figure 12. Mauvaise soudure manuelle



Figure 13. Préparation insuffisante du support

4. La certification, une sécurité pour l'ingénierie par rapport à l'évolution réglementaire européenne

4.1. Le contexte

Dans l'établissement d'un marché public, la *définition des spécifications* (qualité requise) destinées à répondre à la « qualité d'usage » définie par le maître d'ouvrage est une étape essentielle, tant pour la passation du marché (exigences de transparence, de liberté d'accès et d'égalité de traitement) que pour sa bonne exécution et la qualité finale des ouvrages.

Pour le concepteur, cette étape s'est principalement axée dans le développement des normes européennes pour les matériaux de la construction destiné à encourager les fabricants à étendre leur offre par delà les frontières. Elle s'inscrit dans l'application progressive du marquage CE répondant à la directive 89/106/CEE du 21 décembre 1988, dont la vocation initiale est de répondre aux exigences réglementaires (résistance mécanique et stabilité – sécurité en cas d'incendie – hygiène – santé et environnement – sécurité d'utilisation) et d'assurer la libre circulation des produits dans l'Espace économique européen.

Dans cette perspective, le marché unique européen requiert que les spécifications contractuelles ne soient pas *discriminatoires* à l'égard des fournisseurs et entrepreneurs de l'Espace économique européen. Cela conduit à admettre que certains produits ou procédés puissent être *équivalents* aux spécifications du marché, sans que leur conformité ait besoin d'être attestée sous les formes prescrites par celui-ci.

Les évolutions suivantes sont actuellement fortement susceptibles d'entacher la nécessité de « cohérence » ; par exemple ; des CCTP et en cas de sinistre susceptibles d'entraîner des mises dans la cause des maîtrises d'œuvre :

- la parution et l'application des Eurocodes et de normes européennes en remplacement de normes françaises qui viennent fortement modifier les habitudes des spécificateurs français, d'autant plus que certaines font dès leur parution au JO l'objet de demandes de révision !
- la mise en chantier de l'actualisation de plusieurs fascicules du CCTG, notamment pour intégrer les nouvelles normes européennes. Cependant, les références normatives de ces fascicules auront beaucoup de peine à être tenues à jour et c'est pour cette raison que la commission de révision du Fascicule 67 – titre III « Étanchéité des ouvrages souterrains » a décidé de sortir les spécifications et essais de l'article 7 du CCTG. Le futur CCTG renverra les spécifications et essais aux référentiels de l'Avis Technique CETU (Centre d'Étude des Tunnels), ce qui compliquera assurément la tâche des spécificateurs. À noter également le risque de changement de statut des CCTG, actuellement à l'étude dans le cadre du RGC 2010 ;

- le marquage CE qui, par décision des Autorités Européennes, exige le système d'attestation 2+ comme base d'attribution de celui-ci repose en grande partie sur des valeurs déclarées par les producteurs (valeurs pas toujours contrôlées et validées par un laboratoire indépendant du producteur). De plus, quelques producteurs se sont récemment engouffrés dans le « flou » qui entoure certaines normes européennes (annexe ZA définissant les conditions de marquage pour un procédé ou produit) pour proposer aux spécificateurs des procédés ou produits marqués CE mais n'étant pas forcément compatibles avec tous les domaines d'utilisation visés. Parallèlement à cette « déviation » du marquage CE, ces mêmes producteurs essaient de faire passer ce marquage comme étant une marque de qualité et de performance, ce qui n'est pas du tout l'objectif de celui-ci ;
- l'article 6 du chapitre II du code des marchés publics 2006 et les documents administratifs qui lui sont rattachés ont officiellement introduit la notion « d'équivalence » au niveau des caractéristiques et performances d'un procédé ou produit ». Cette *vérification de « l'équivalence » fait désormais partie de la mission de la maîtrise d'œuvre* et celle-ci n'a pas toujours les informations ou la formation suffisante pour s'acquitter de cette tâche ;
- le « désengagement » progressif des administrations ou établissements publics français vis-à-vis du contrôle des caractéristiques des produits et des procédés : abandon des listes nationales du type liste LCPC, ou de LRPC pour certaines familles de produit, suppression progressive des agréments nationaux du type « agrément SNCF », nouvelles orientations des LRPC compte tenu de la départementalisation du réseau routier national (baisse continue des effectifs), etc. ;
- le déficit technique constaté depuis une dizaine d'années dans la formation des ingénieurs, combiné avec les départs en retraite massifs des ingénieurs confirmés, rendent plus difficile la « transmission technique » au sein du groupe. Le recours systématique par les jeunes ingénieurs du « copié collé » est source d'erreurs de spécification et par conséquent générateur potentiel de contentieux.

Par conséquent, la nature des risques courus par l'ingénierie face au contexte actuel est la suivante :

- Risques techniques, liés à des spécifications incorrectes (mauvais choix des normes ou des niveaux de performance dans les normes) ou à des spécifications correctes mais mal respectées et mal contrôlées, faute d'être bien connues sur le terrain ou faute d'une bonne identification des matériaux sur le chantier (cf. marquage CE).
- Risques d'ordre juridique (essentiellement pour les marchés publics), liés à des formulations discriminatoires ou à un mauvais traitement des revendications d'équivalence.

4.2. Solutions proposées à l'ingénierie

Face à cette évolution normative et au dégagement progressif de l'état dans son rôle de prescripteur technique en matière de rédaction des marchés publics de travaux, l'ingénierie n'a pas d'autres solutions que de se recentrer avec prudence vers les dispositifs suivants :

- le MARQUAGE CE, annonciateur de l'arrivée irrémédiable du marché unique des produits de la construction. Celui-ci se fait au fur et à mesure de la parution des normes européennes harmonisées ou des guides pour l'Agrément Techniques Européens (A.T.E). Cependant, les conséquences pour l'ingénierie sont que le marquage CE n'est pas un « label de qualité » (respect exigences essentielles – attestation de conformité 2+), mais un acte purement administratif. Ce statut assez limité du marquage CE entraîne une exigence de spécifications encore accrue de la part des prescripteurs, qui devront déterminer leurs besoins avec précision au regard de l'objet du marché et examiner avec soin les performances des produits qui leur sont soumis.
- l'évolution des Avis Techniques et des agréments techniques européens :
 - Avis Technique Français : document d'information à caractère technique sur l'aptitude à l'emploi et le comportement en service d'un produit ou d'un matériau nouveau utilisé dans la construction. N'a pas un caractère réglementaire. Les Géomembranes ne sont concernés que par l'Avis Technique CETU pour l'étanchéité des ouvrages souterrains. En cas de marquage CE du produit, l'Avis Technique changera de statut pour devenir un Avis Technique d'Application (A.T.A).
 - Agrément Technique européen (A.T.E.): concerne les produits de la construction qui dérogent aux normes harmonisées et ceux pour lesquels il n'existe aucune norme reconnue. Ils permettent le marquage CE de ces produits d'étanchéité.
- L'établissement et l'actualisation des Référentiels Techniques établis par la profession: Sont notamment visés par une actualisation vis-à-vis de la réglementation européenne :

- Comité Français des Géosynthétiques : Fascicules 10 – 11 – 12
- Association Française des Tunnels et de l'Espace souterrain (AFTES) : recommandations publiées dans la revue « Tunnels et Ouvrages Souterrains ».
- Guides du LCPC/SETRA : Étanchéité par géomembrane des ouvrages pour les eaux de ruissellement routier – Lettres et bulletin d'information.
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie – ADEME : Démarche qualité pour la mise en œuvre des Géosynthétiques – Application aux centre de stockage des déchets.

4.3. La certification, une aide précieuse pour l'ingénierie

Les référentiels techniques Produits et Services ont été établis par l'ASQUAL, au sens de la loi n° 94-442 du 3 juin 1994, pour délivrer une certification « géomembranes » et « soudage ». À ce titre, ils font partie des référentiels techniques visés par l'alinéa 1 du 1er paragraphe de l'article 6 du chapitre II du Code des Marchés Publics de 2009.

À une époque où le contexte technico-juridique devient extrêmement compliqué pour l'ingénierie, il est utile qu'elle se prémunisse contre d'éventuels contentieux qui pourraient survenir suite à des sinistres d'étanchéité, constatés sur la mise en œuvre des géomembranes. L'intérêt de l'ingénierie est par conséquent de spécifier dans les pièces techniques de marché la certification du type ASQUAL (ou similaire pour respecter le principe de l'équivalence mis en avant par le Code des Marchés Publics).

En l'absence de référentiels techniques performanciers (ou de document actualisé en fonction de la réglementation européenne), le concepteur a tout intérêt à spécifier la certification ASQUAL « Géomembranes ». Cette spécification s'applique avant tout aux travaux d'étanchéité des ouvrages de génie civil.

Compte tenu de l'importance de la mise en œuvre dans la qualité finale des travaux d'étanchéité, importance mise en évidence par les différentes études exposées ci-dessus, la maîtrise d'œuvre d'exécution a également tout intérêt à spécifier la certification de service applicable à la mise en œuvre de la géomembrane, à savoir « Application de géomembranes » et « Responsabilité de chantier ».

La Qualification des entreprises de mise en œuvre des géomembranes est désormais opérationnelle et applicable depuis le 1^{er} janvier 2009. Elle est également portée par l'ASQUAL. Elle complète et met assurément en avant un savoir faire et les compétences d'une entreprise qui a fait l'effort financier et organisationnel d'investir dans la certification de son personnel d'exécution et d'encadrement. Elle est également proposée à la profession pour apporter des garanties supplémentaires à la qualité d'exécution des travaux d'étanchéité par géomembrane, mais aussi vis-à-vis de leur durabilité et leur insertion environnementale.

Cette certification devra également s'accompagner par l'établissement d'un Plan d'Assurance Qualité, comprenant notamment des procédures d'exécution de mise en œuvre du D.E.G et de contrôles intérieurs de la réalisation des soudures. Le Maître d'Ouvrage a également tout intérêt à s'appuyer sur un Contrôle Extérieur qui aura pour fonction de contrôler la conformité aux pièces techniques du marché de la mise en œuvre du D.E.G et de vérifier le bon fonctionnement du Contrôle Intérieur de l'entreprise. Pour aller dans le sens de la qualité, notons que ce contrôle extérieur fait actuellement l'objet d'un projet de certification, actuellement étudié par un Groupe de Travail du C.F.G, et qui pourrait très rapidement déboucher sur une certification des organismes réalisant de ce type de prestations de Contrôle Extérieur.

Ces nouvelles spécifications devraient favoriser le développement de la mise en œuvre des géosynthétiques bentonitiques, et plus particulièrement ceux associés à un géofilm, pour l'étanchéité des tranchées couvertes et plus spécialement des structures dites intégrées. Pour ce type d'ouvrage, ce procédé d'étanchéité par hydrogonflement présente désormais un rapport coût / durabilité-développement durable, etc. relativement intéressant.

5. Conclusions

Le développement rapide de l'étanchéité par géomembranes des ouvrages souterrains et de génie civil a été un facteur de l'arrivée massive sur le marché et de produits et d'entreprises de pose. Cependant la qualité, notamment de mise en œuvre, n'a pas toujours été au rendez-vous. Les sinistres n'ont pas tardés à apparaître, avec le risque de remettre en question une technique d'étanchéité présentant pourtant beaucoup d'avantages. La certification est venue fort à propos pour rassurer les maîtres

d'ouvrage, accompagner les maîtres d'œuvre et promouvoir les véritables professionnels de la mise en œuvre de ces géomembranes.

6. Références bibliographiques

- Mahuet J.-L. (1990). Procédure de contrôle de l'application de l'étanchéité. PAQ des travaux d'étanchéité. *Tunnels et Ouvrages Souterrains T.O.S n°100*.
- Mahuet J.-L. (1992). Recommandations relatives à l'établissement des Plans d'Assurance Qualité pour les travaux d'étanchéité dans les ouvrages souterrains. *T.O.S n°113*.
- Mahuet J.-L., JABY J.-F. (1996). Évolution du Plan d'Assurance Qualité pour les travaux d'étanchéité des ouvrages souterrains. Journées internationales de l'AFTES de Chambéry.
- Mahuet J.-L. (2000). Une certification française pour les travaux d'étanchéité des ouvrages souterrains. *T.O.S n°162*.
- Mahuet J.-L., Fagnat M. (2001). L'étanchéité des ouvrages sous plate-forme routière, autoroutière et ferroviaire. Etat des réflexions du GT n°9 en matière d'actualisation du Fascicule 67 titre III du CCTG. *T.O.S n°168*.
- Mahuet J.-L., Mazzoleni G. (2004). Avis Techniques pour les procédés d'étanchéité utilisés dans les ouvrages souterrains. *T.O.S n°181*.