

Application des géomembranes aux ouvrages hydrauliques en béton

Gérard Dubart, Daniel Fayoux, Gérard Mathieu, Denis Savoye

Les géomembranes présentent de nombreux avantages lors de la réalisation de l'étanchéité des ouvrages en béton : maintien en fonction des ouvrages en zone sismique, ouvrages non étanches dans la masse, réhabilitation d'ouvrages existants présentant une fissuration active,... Ce document présente le nouveau cadre réglementaire ainsi que les retours d'expérience.

Le nouveau contexte réglementaire

Le fascicule 74 du Cahier des Clauses Techniques Générales, intitulé "Construction des réservoirs en béton" vient d'être publié en 1998 [1]. Son champ d'application a été considérablement élargi par rapport à la version de 1983. Il s'applique non seulement aux réservoirs traditionnels, mais à l'ensemble des ouvrages destinés à contenir (retenir, canaliser) des eaux brutes, résiduaires ou destinées à la consommation humaine tels que : châteaux et réservoirs d'eau destinés à la consommation humaine ou à usage divers, réserves de lutte contre l'incendie, stations d'épurations, canaux et aqueducs, cheminées d'équilibre, bassins et réservoirs d'orage sur les réseaux d'assainissement,

bassins de pollution et de rétention, piscines, cuves à vins, fosses à lisier.

Le nouveau fascicule 74 propose que les utilisateurs des ouvrages précisent les objectifs qu'ils souhaitent atteindre.

Les quatre objectifs suivants doivent être pris en considération et faire l'objet d'un choix précis pour chacun d'entre eux.

- Etanchéité des ouvrages
- Comptabilité avec les liquides contenus
- Résistance – Durabilité – Longévité
- Entretien.

■ Etanchéité des ouvrages

L'objectif premier est l'étanchéité. Les ouvrages sont classés selon le principe de réalisation de leur étanchéité en 4 classes :

Classe A : Ouvrages dont l'étanchéité est assurée par la structure seule ;

Classe B : Ouvrages dont l'étanchéité est assurée par la structure complétée par un revêtement d'imperméabilisation ;

Classe C : Ouvrages dont l'étanchéité est assurée par un revêtement d'étanchéité, adhérent ou indépendant du support, la structure assurant uniquement une fonction mécanique ;

Gérard Dubart

Société Dubart
Etanchéité
138, route de
Poperinge
59270
Godewaersvelde

Daniel Fayoux

Alkor Draka,
Groupe Solvay
Roissypôle le Dôme
5, rue de la Haye
BP 10943
Tremblay en France
95733 Roissy CDG
cedex

Gérard Mathieu

URE Ouvrages
hydrauliques et
équipements pour
l'irrigation
Cemagref
Le Tholonet
BP 31
13612 Aix en
Provence

Denis Savoye

DDAF du Puy de
Dôme
BP 43
63370 Lempdes

Classe D : Ouvrages construits à l'aide d'éléments préfabriqués.

L'utilisateur doit préciser sans ambiguïté la classe qu'il choisit pour son ouvrage. Ce choix entraîne un ensemble d'hypothèses, ainsi que des dispositions constructives et contraintes d'exécution sur chantier.

Les membranes préfabriquées réalisées à base de hauts polymères appartiennent à la Classe C.

■ **Compatibilité avec les liquides contenus dans les ouvrages**

Le deuxième objectif concerne le comportement et l'interaction des matériaux et des revêtements au contact des liquides avec notamment le maintien de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine ou la compatibilité avec les eaux brutes, usées ou agressives.

Alimentarité :

Les matériaux et revêtements utilisés pour la construction des ouvrages de traitement ou de distribution d'eau destinée à la consommation humaine ne doivent pas être susceptibles d'altérer la qualité de l'eau contenue, tant par leur composition que par leur mise en oeuvre et leur évolution éventuelle. Ces matériaux doivent être conformes à la législation en vigueur [2].

Compatibilité avec les eaux usées ou agressives :

Les produits et matériaux destinés à une application à l'intérieur des ouvrages de stockage et de traitement d'eaux usées ou pluviales, et des ouvrages d'assainissement ne doivent pas entraîner une altération de la qualité chimique ou biologique de l'effluent rejeté. Ils ne doivent pas être altérés ou attaqués par le contenu.

■ **Résistance - Durabilité – Longévité des ouvrages**

Le troisième objectif concerne la résistance, la durabilité et la longévité. Cet objectif influence : le choix des hypothèses (actions, sollicitations, contraintes...), le calcul de l'ouvrage, le choix des matériaux et produits et les modes de réalisation sur chantier, les ouvrages devant garder leur intégrité et leurs qualités d'étanchéité pendant toute la durée prévisible de leur utilisation. Ceci concerne tant la structure que les

revêtements qui peuvent en assurer le complément d'étanchéité ou l'étanchéité. Ces derniers ne doivent ni se décoller (s'ils sont adhérents) ni se détacher (s'ils sont indépendants) ; ils ne doivent pas subir de fissuration, être biodégradables, favoriser de développements biologiques nuisibles, ni induire d'effets de pile par la présence de cristaux.

Le calcul et l'exécution doivent être conformes aux conditions d'environnement définies notamment dans le fascicule de documentation P18-011 de l'AFNOR [3] ou dans la future norme européenne ENV 206 [4]. L'utilisateur et le maître d'oeuvre doivent, s'y référer, avoir réfléchi aux conditions actuelles et futures d'environnement de l'ouvrage projeté, les identifier et les préciser dans le CCTP après accord du maître d'ouvrage. Les hypothèses qui en découlent sont à prendre en compte lors de la conception, mais aussi dans le choix et la composition des matériaux et produits.

■ **Entretien des ouvrages**

Le quatrième objectif concerne l'entretien. Les travaux d'entretien et leurs éventuelles réparations, doivent être pris en considération lors de la conception et du choix des éléments constitutifs des ouvrages (faciliter l'exploitation, résister aux conditions de nettoyage, être aisément "lavables" et réparables, etc.).

Comment obtenir des ouvrages étanches ?

Le problème essentiel à résoudre est d'obtenir l'étanchéité exigée par le maître d'ouvrage, et ensuite de la maintenir dans le temps. L'élaboration d'un projet nécessite que : la classe de conception, la classification de l'environnement [3 et 4], le débit de fuite admissible, le mode d'entretien et maintenance de l'ouvrage soient supposés être arrêtés et clairement définis.

Le tableau de synthèse proposé dans les Annales du BTP [5] rappelle que l'étanchéité d'un ouvrage peut être obtenue de différente façon. Il précise aussi les différentes techniques, classes et principes d'étanchéité. Les principaux critères de choix de la technique d'étanchéité à utiliser ont été réunis dans un tableau à double entrée, ([6], chapitre 7).

Pour les cinq principales techniques utilisées (colonnes) :

- ouvrage étanche dans la masse,
- traitement d'imperméabilisation,
- revêtement d'imperméabilisation à base de liants hydrauliques,
- revêtement d'imperméabilisation ou d'étanchéité à base de résines synthétiques,
- revêtement d'étanchéité à base de membranes.

Il précise, pour chaque technique, des informations relatives aux rubriques suivantes (lignes) :

- compatibilité chimique et biologique,
- résistance aux sollicitations mécaniques et physico-chimiques,
- comportement, faisabilité,
- principaux avantages et limites d'utilisation.

L'obtention de l'étanchéité exigée par le maître d'ouvrage et son maintien durant la période estimée pour son exploitation impose lors de la mise en œuvre d'une technique d'étanchéité choisie par le maître d'œuvre, un bon choix des matériaux et produits, ayant des caractéristiques bien adaptées au fonctionnement structurel de l'ouvrage.

Les principaux aspects techniques de mise en œuvre ont fait l'objet d'articles et recommandations. L'article [5], actualise, résume et synthétise les chapitres 6 et 8 des recommandations professionnelles de mai 1990 [6]. L'article [7] relatif aux ouvrages en béton de stockage de l'eau publié dans les techniques de l'ingénieur complète les données essentielles.

Parmi les nombreuses techniques destinées à l'obtention d'ouvrages étanches, "les dispositifs d'étanchéité par géomembranes" - D.E.G., occupent une place particulière. La souplesse de ces revêtements et leur pose en indépendance les rendent bien adaptés aux supports fissurés ou fissurables. Ce choix est particulièrement bien justifié, lors des travaux de restauration de l'étanchéité. Ils trouvent principalement leur application dans les spécificités suivantes :

- maintien en fonction des ouvrages en zone sismique (particulièrement en zones II et III),

- ouvrages non étanches dans la masse (classe C),
- réhabilitation d'ouvrages existants présentant une fissuration active.

Revêtements préfabriqués à base de membranes de hauts polymères

Les membranes à base de hauts polymères sont des produits industriels constitués de feuilles préfabriquées souples à base de résines de synthèse : PVC plastifié, PVC-EVA, EPDM, BUTYL, PEHD, CSPE, polychloroprène... auxquelles peuvent être associés certains adjuvants. Ces membranes sont calandrées en usine, parfois extrudées. Elles peuvent aussi être armées. Sur le chantier elles sont appliquées, adaptées et assemblées sur la totalité du parement intérieur (radier, paroi, quelquefois le plafond), puis soudées (air chaud ou coin chauffant). Certaines peuvent être collées ou vulcanisées sur place. La pose s'effectue en général en indépendance du support, mais nécessite des points et lignes de fixation à la structure.

L'article des annales du BTP [5] propose en annexe 2 un tableau récapitulatif qui précise à partir du type de résine, le type de membrane, les conditions de pose et le principe d'assemblage.

Ces revêtements ne nécessitent pas en général de protection de surface. Assez faciles à poser, ils n'exigent pas un support très soigné, et s'accommodent de la présence d'humidité. Certains d'entre eux néanmoins, ne présentent pas une grande stabilité dimensionnelle, et peuvent exiger des points de fixation complémentaires suivant une technologie à préciser par le fabricant.

La compatibilité entre les composants de la membrane et les liquides stockés (nature et composition chimique des effluents, température, durée de stockage, présence de micro-organismes, alimentarité, etc.) doit faire l'objet d'une étude particulière. Les conditions d'entretien et de maintenance doivent être précisées. Cette étude doit prendre en compte, non seulement les valeurs moyennes, mais aussi les valeurs extrêmes et la durée relative de ces extrêmes (concentration, température, etc.).

Les procédés d'étanchéité par D.E.G. relèvent dans tous les cas d'une technicité confirmée. Un certain nombre de principes de conception et réalisation est déjà inscrit dans les Recommandations Professionnelles mai 1990 "Calcul, réalisation et étanchéité des réservoirs...". Ces principes sont repris, mais très succinctement, dans le nouveau fascicule 74 du CCTG. Les cahiers des charges des fournisseurs et applicateurs donnent aussi un grand nombre d'informations. Quelques articles (5 et 7) et publications (8, 9 et 10) complètent les documents.

Néanmoins, de récentes réalisations ont mis en évidence des difficultés techniques trouvant leur origine dans des insuffisances soit en phase projet (réflexion préalable), soit en phase travaux (préparation et moyens).

Photo 1. – Réservoir de la Montagne Café, Commune de Kourou (Guyane Française) (photo D. Savoye). ▼



Photo 2. – Réservoir de la Montagne Café – Structure génie civil. Complexité des formes et volumes (photo D. Savoye). ▼



Exemples de réalisations

■ Réservoir de la Montagne Café, commune de KOUROU (Guyane Française)

Généralités (photos 1 et 2)

Cet ouvrage est très esthétique. Il a un très bel aspect général. Un revêtement extérieur par peinture a été appliqué.

– Réservoir d'eau potable de 4 000 m³ réalisé en 1994 et 1995, réception des travaux le 15/10/1995.

– Ouvrage posé au sol, sur une colline, la montagne café, qui domine la ville de Kourou.

– Ouvrage de forme générale cylindrique, d'un diamètre de 30 m environ, mais comportant huit coques cylindriques à axe vertical ayant une concavité tournée vers l'extérieur. Entre ces éléments, régulièrement espacés, des parties planes verticales réalisent le raccordement, et assurent le monolithisme et la continuité de l'ensemble de la paroi extérieure.

– L'ouvrage comporte dans sa partie centrale une paroi cylindrique ajourée.

La couverture de cet ouvrage est réalisée avec des dalles en béton armé préfabriquées. Elles reposent avec une légère pente sur un réseau de poutres croisées, préfabriquées, assemblées sur chantier, prenant appuis sur la paroi centrale, les parois extérieures et huit poteaux cylindriques de 0,30 m de diamètre. L'étanchéité est assurée par un feutre bitumineux autoprotégé. Au niveau des acrotères, les remontées sont assurées par de la " calandrite aluminium.

Membrane d'étanchéité (photos 3 et 4)

Pour diverses raisons, l'étanchéité intérieure de cet ouvrage a été réalisée avec une membrane PVC.

Du fait de la complexité des formes de l'ouvrage (parois extérieures, parois centrales) auquel il faut ajouter la présence obligatoire de poteaux, nous sommes en présence d'un très grand nombre d'assemblages de toutes natures, qui ont parfois fait l'objet de réparations par " rustines " et bandes soudées, résultant peut-être du

constat réalisé lors des essais d'étanchéité, mais aussi de dégradations involontaires résultant de l'accès à l'intérieur de la cuve de personnes non sensibilisées à ce type de revêtement d'étanchéité par membrane. Il faudra veiller à donner des consignes strictes à l'exploitant qui devra informer et former son personnel sur ces conditions particulières.

Cette réalisation utilisant le procédé D.E.G. permet d'illustrer quelques difficultés techniques qui trouvent leur origine par insuffisance de réflexion préalable en phase projet (le projet de base du maître d'oeuvre est un ouvrage étanche dans la masse, donc pas de CCTP relatif à la solution réalisée ...); mais aussi une relative complexité des formes de l'ouvrage avec une préparation médiocre de la part de l'entreprise de pose (expérience uniquement pour des ouvrages cylindriques), des difficultés diverses en phases travaux et une relative absence de consignes strictes de la part de l'exploitant.

■ Réservoirs, châteaux d'eau et cuves avec membrane PVC ou PEHD

Des ouvrages, réalisés en 1998, soulignent, qu'il est possible d'obtenir des étanchéités fiables "du premier coup".

La Société DUBART ETANCHEITE a réalisé l'étanchéité de réservoirs et châteaux d'eau par géomembranes en PVC ou PEHD, avec des débits de fuite non détectables. Les détails de conception et de réalisation diffèrent en fonction de la souplesse du matériau d'étanchéité. Cette société a aussi repris, de nombreuses étanchéités de châteaux d'eau par membrane PVC qui présentaient des fuites résiduelles faibles, généralement inférieures au seuil de $250 \text{ cm}^3 / \text{m}^2/\text{jour}$ imposé par le fascicule 74, mais qui ne pouvaient pas être réduites par les entreprises responsables des premiers travaux.

Après intervention, les fuites étaient "réduites à zéro". Les points essentiels permettant d'expliquer la différence de résultats sur les étanchéités par membrane PVC sont les suivants (voir figure n° 1).

– Nécessité de prévoir des fixations continues par tôles colaminées dans les angles rentrants. En particulier pour les châteaux à cuve cylindro-coniques, sont prévus des dispositions : aux



◀ Photo 3. – Réservoir de la Montagne Café – Soudure de la membrane d'étanchéité (photo D. Savoye).

Photo 4. – Membrane d'étanchéité au contact de trois parois orthogonales (photo D. Fayoux). ▼



angles entre voiles verticaux et partie conique, sur le fond du réservoir entre partie conique et calotte sphérique et la base du puits central.

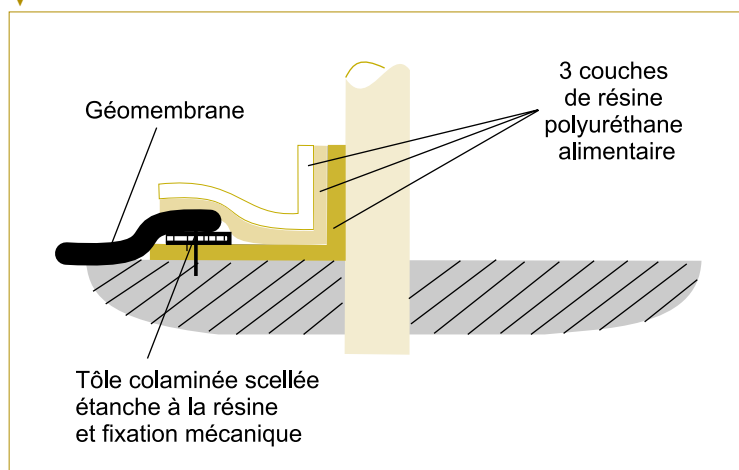
– Pour les réservoirs avec un plan incliné, cette Société recommande une fixation continue horizontale par tôle colaminée tous les 2 à 3 m maximum.

– Une tôle colaminée doit être placée aussi dans les angles verticaux des ouvrages, s'ils ont des angles vifs (cela n'est pas indispensable s'ils sont arrondis). On en prévoit aussi autour des puits, ainsi qu'en bas et en haut des poteaux.

– La membrane doit être mise en place sans tension, et, si possible avec un peu de matière en excédent (plis).

– Enfin, pour les raccordements sur canalisation par manchette, cette société a souvent constaté que, lors du serrage du collier sur la membrane et le joint caoutchouc, il y avait formation d'un pli, suffisant pour générer une petite fuite. Les traversées de canalisation ont été reprises par traitement à la résine : la membrane est soudée sur un cadre en tôle colaminée fixée par liaison mécanique et par une couche de résine polyuréthane alimentaire, qui recouvre également le béton à l'intérieur du cadre, ainsi que la base du tuyau qui a été préalablement sablée ou meulée. Deux couches de résines recouvrant la fixation complètent le traitement (figure 1).

Figure 1. – Traitement d'un passage de canalisation par résine (la partie droite est symétrique de la partie gauche (d'après D. Fayoux).



– Au niveau des soudures, un nettoyage soigné et, si nécessaire un séchage préalable est indispensable. La membrane doit systématiquement être chanfreinée au niveau des points triples.

Ces précautions ont permis d'obtenir des débits de fuites nuls (ou non détectables), aussi bien pour les premières réalisations qu'en reprises de "sauvetage". Nous avons constaté, pour certains ouvrages, un passage d'eau sous la membrane au contact de la surface corrodée du tuyau. Dans le cas de raccordement par manchette, il est donc indispensable de sabler les tuyaux pour mettre le métal non corrodé à nu et de le traiter par résine afin de prévenir une reprise ultérieure de la corrosion.

Pour les étanchéités en PEHD, il est préférable de prévoir des angles largement arrondis, des formes géométriques simples. Sur les cuves

de rétention des Etablissements Beauseigneur à Froidefontaine (3 cuves de 12 x 14 x 4 m et 2 cuves de 3,5 x 3,4 x 4 m), la membrane n'a été fixée qu'en tête par un profilé plat en PE de 5 mm, fixé avec des vis en acier inoxydable espacées de 10 cm. Les soudures courantes sont faites par machines à doubles soudures, contrôlées par pression, et les détails par extrusion sont limités au maximum. Ces détails, en particulier les puisards, sont testés par mise en eau. Là encore, la mise en eau définitive n'a montré aucune fuite. La photo 5 montre le détail du puisard d'une cuve de rétention.

Projet de recommandations du CFG

Les analyses de cas présentés dans la communication représentatifs dans l'ensemble, des ouvrages réalisés selon les procédés D.E.G. depuis plus d'une dizaine d'années, alimentent les réflexions du groupe de Travail du CFG "géomembranes dans les ouvrages hydrauliques en béton", dont l'objectif est la publication de "Recommandations d'emploi des géomembranes dans les ouvrages hydrauliques en béton".

Nous soulignons dans les lignes qui suivent les points essentiels de notre réflexion à chacune des étapes d'un projet d'exécution (conception, réalisation, maintenance et exploitation).

Les paragraphes que nous développons font partie intégrante du projet de recommandations ayant pour sommaire :

- présentation générale, domaine d'application,
- conception de l'ouvrage D.E.G.,
- produits composant le D.E.G.,
- mise en œuvre, réalisation du D.E.G.,
- assurance de la qualité,
- essais, contrôles et réception,
- maintenance et réparation.

■ Conception et/ou adaptation de l'ouvrage

Il y a lieu de distinguer les ouvrages neufs des ouvrages à réhabiliter. En effet, dans le premier cas, la conception de la géométrie de l'ouvrage,

la recherche de forme simple et bien adaptées à l'emploi de géomembranes doit être recherché. Il en est de même pour la conception et/ou l'adaptation des points singuliers. Dans le deuxième cas, il faut retenir des dispositions techniques qui permettent l'adaptation des géomembranes à des ouvrages hydrauliques en béton de conception, réalisation, forme, état de surface, mais aussi points singuliers parfois peu compatibles avec les produits composant le D.E.G. De plus, ces ouvrages nécessitent parfois au-delà d'un revêtement d'étanchéité un confortement, renforcement de la structure (béton projeté, injection, câbles de précontrainte... colmatage de fissures etc.). Dans ce cas, la solution définitive devra impérativement prendre en compte l'interaction structure-produits.

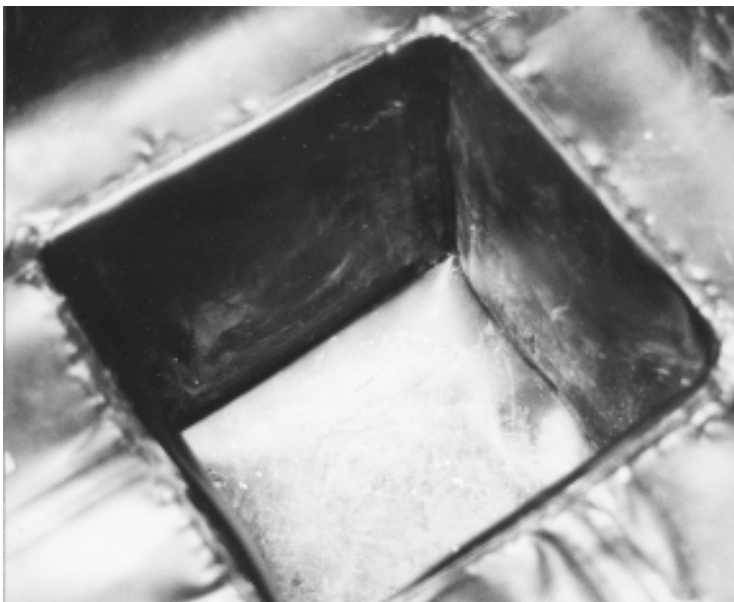
Parmi les points essentiels des futures recommandations CFG nous précisons :

– La définition du produit D.E.G. et des critères de choix : selon l'ouvrage, sa destination, son mode d'exploitation, le liquide transporté ou contenu . Il est opportun de proposer des critères de choix du D.E.G. (nature, épaisseur, alimentarité...).

– La définition du support en terme d'état de surface sous sollicitation, à chacun des cycles d'exploitation, le D.E.G. est au contact des parois en béton. Il est important de définir un état de surface, un degré de finition, mais aussi des critères de tolérance, d'affleurements, voire même de dimensionnement minimal de points singuliers.

– La définition des fixations – Les documents [6], articles 5 et 7, et CCTG [1] donnent des règles concernant la position des fixations des membranes au contact des parois verticales. Il est important de préciser leur densité, type, qualité, orientation et ceci en tenant compte de la géométrie de l'ouvrage et des morphologies particulières.

– Le traitement des points singuliers – Les angles vifs et rentrants, les puisards, les pénétrations et supports de conduites et canalisations, sans oublier les échelles et divers équipements sont autant de points singuliers qui doivent faire l'objet d'une définition approfondie. Des schémas et croquis sont proposés dans le projet de recommandations.



■ *Mise en œuvre et réalisation*

– En préalable à la réalisation de l'ouvrage, il est indispensable de procéder, définir et maîtriser les points suivants :

- réception du produit et contrôles de marquage et de conformité ;

- modalités de stockage et de manutention ;

- identification des différents rouleaux par rapport au plan de calepinage ;

- ventilation et extraction mécanique de l'air dans les ouvrages couverts.

– Lors de la mise en œuvre, on s'assure de la maîtrise et du respect des dispositions techniques retenues dans les parties courantes mais aussi du raccordement aux différents équipements.

– Le contrôle des soudures : matériel, fréquence, double contrôle, procès-verbal d'essais doit être défini dès la conception. La présence d'un contrôleur technique avec une mission spécifique est souhaitable.

– Les modalités d'essais, d'épreuves et de réception des ouvrages doivent être conformes aux règlements en vigueur [1]. Durant toutes ces opérations, il y a lieu d'éviter les blessures accidentelles du produit. Le projet de recommandations énonce quelques commentaires,

▲ Photo 5. – Détail du puisard d'une cuve de rétention. Géomembrane P.E.H.D (photo D. Fayoux).

conseils, dispositions pratiques et propose des solutions de réparation.

■ *Maintenance et exploitation*

Ce procédé de revêtement nécessite des consignes particulières, qui concernent l'accès, l'emploi de certains matériels et produits ou dispositifs d'entretien. Le fascicule 74 du CCTG [1]. et le projet de recommandations du CFG indiquent ces consignes. Lorsqu'une blessure de la géomembrane survient et surtout lorsqu'elle rend l'ouvrage impropre à sa destination (fuites), il convient de mettre en œuvre une procédure de localisation et de réparation. Nous définirons quelques scénarios et type de procédure.

Remarques et conclusions

Avec une dizaine d'années d'expérience, la mise en œuvre des membranes au contact des ouvrages hydrauliques en béton, a progressé avec l'apport technique de quelques règles de base proposées dans des articles, cahier des charges, recommandations et fascicule 74 du CCTG. Il est maintenant souhaitable et même indispensable d'élaborer une synthèse qui prenne en compte l'expérience des entrepreneurs, des maîtres d'œuvre et des exploitants d'ouvrages.

Le projet de "Recommandation d'emplois des géomembranes dans les ouvrages hydrauliques en béton" a pour ambition d'élaborer dans le cadre du CFG, un texte de synthèse, thématique, détaillé, qui devrait constituer les "règles de l'art". Nous remercions l'ensemble des participants à ce groupe. ■

Résumé

Les géomembranes présentent lors de la réalisation de l'étanchéité des ouvrages en béton de nombreux avantages, en particulier dans les cas suivants : maintien en fonction des ouvrages en zone sismique, ouvrages non étanches dans la masse, réhabilitation d'ouvrages existants présentant une fissuration active. La communication présente le nouveau cadre réglementaire (édition 1998 du fascicule 74) ainsi que les retours d'expérience, permettant l'établissement des règles de l'art, en cours par un groupe de travail du CFG.

Abstract

Geomembranes offer numerous advantages for concrete works waterproofing mainly in the following cases : works in seismic areas, concrete designed not waterproof, renewal of works with active cracks. The paper present the new French regulation (Fascicule 74, Edition 1998). Some case histories are also studied, to point out the main elements to be considered during design and construction. Those points are used by a working group of CFG to write guidelines for use geomembrane to waterproof concrete works.

Bibliographie

- [1] Fascicule 74 du CCTG - *Construction des réservoirs en béton* (décret n° 98-28 du 8/1/1998).
 - [2] Arrêté du 29 mai 1997 relatif aux matériaux et objets utilisés dans les installations fixes de production, de traitement et de distribution d'eau destinée à la consommation humaine.
 - [3] Fascicule de documentation P18011 de l'AFNOR. *Bétons, classification des environnements agressifs* - juin 1992.
 - [4] PR EN 206 " *Béton – Performances, production et conformité* ".
 - [5] Annales du BTP – avril et juin 1999 – *L'étanchéité des ouvrages en béton de stockage et de transport de l'eau*. B. DUCROT, B. FARGEOT, G. MATHIEU.
 - [6] Recommandations professionnelles mai 1990 - *Calcul, réalisation et étanchéité des réservoirs, cuves, bassins, châteaux d'eau enterrés, semi-enterrés, aériens, ouverts ou fermés* - Annales ITBTP - N° 486 - septembre 1990. B. DUCROT, B. FARGEOT, G. MATHIEU.
 - [7] Technique de l'Ingénieur – *Stockage de l'eau, ouvrages en béton C 3670 – C 3671 – C 3672 – C 3673* ; B. DUCROT, B. FARGEOT, G. MATHIEU.
 - [8] *Géomembranes et étanchéité des ouvrages en béton sont destinés au stockage et au transport des liquides*. Rencontres 93 – D. FAYOUX, G. MATHIEU.
 - [9] *Bilan d'application de membranes d'étanchéité dans les ouvrages hydrauliques en béton*. Rencontres 95 – D. FAYOUX et G. MATHIEU.
 - [10] *Waterproofing of Concrete Structures intended for Storage and Transport of Liquids* – First international on Geotextiles, Geomembranes – Singapour – Septembre 1994 – D. FAYOUX – G. MATHIEU.
 - [11] *Comportement et durabilité des étanchéités des châteaux d'eau, réservoirs, cuves et bassins* - Travaux - juillet-août 1991 - , G. MATHIEU, J. SARI.
- DUBART G., FAYOUX D., MATHIEU G., SAVOYE D., 1999 - *Applications des géomembranes aux ouvrages hydrauliques*. Rencontres Géosynthétiques 99, Comité Français des Géosynthétiques, Bordeaux, 12-13 octobre 1999.

photo D. Croissant

