

Barrage de La Muratte – Étanchéité par géomembrane PVC – Retour d'expérience technique

Elsa Vettori ^a et Christian Charroin ^b

Le barrage de La Muratte est situé à la cote 780 NGF¹, dans le département du Puy-de-Dôme (63) à 20 km environ au nord-est de la ville de Thiers. Vieux de 100 ans, ce barrage est de type poids en béton cyclopéen. Ses parements amont et aval sont maçonnés. Haut de 18,70 m sur fondation, il retient les eaux en provenance des ruisseaux de la Credogne (ruisseau principal) et des Étivaux (affluent). Le volume de la retenue initialement de l'ordre de 180 000 m³, est actuellement de 140 000 m³.

Malgré une hauteur inférieure à 20 m au-dessus du terrain naturel, le barrage a été classé par l'autorité de tutelle comme intéressant la sécurité publique au sens de la circulaire 70-15. La vocation initiale du barrage était uniquement la régulation du débit de la Credogne pour le soutien d'étiage, pour le compte des industriels situés en aval.

À la fin des années 1990, le propriétaire maître d'ouvrage a fait réaliser un bilan de l'ouvrage, dans l'idée de l'exploiter en tant que réserve d'eau potable de secours.

En 2001, un incident sur la vanne de fond a conduit à une vidange totale de la retenue. L'autorité de tutelle a alors imposé au maître d'ouvrage que le barrage reste vide ou à cote très basse jusqu'à ce que les travaux de réhabilitation nécessaires pour garantir sa sûreté, soient réalisés.

Les étés 2002 et 2003 qui ont suivi ont été particulièrement secs, ce qui a conduit le maître

d'ouvrage à décider de la remise en exploitation de l'ouvrage pour l'été 2005, afin de garantir l'alimentation en eau potable de la ville de Thiers en cas de sécheresse. Compte tenu de l'état général du barrage, des travaux visant l'amélioration de ses conditions de stabilité et des revêtements extérieurs ont été engagés, afin que l'administration autorise sa remise en eau. La mission de maîtrise d'œuvre complète de l'ensemble des travaux de réhabilitation du barrage, depuis les études préliminaires jusqu'à la réception des travaux, a été confiée à EDF-CIH².

Les travaux de réhabilitation mis en œuvre

Les travaux ont consisté en :

- l'augmentation de sa stabilité par la réalisation d'un voile de drainage dans la fondation et le corps de l'ouvrage, et de l'étanchéité du parement amont par mise en place d'une géomembrane drainée ;
- la réalisation des travaux de réfection des maçonneries du couronnement et du parement aval du barrage (purge des zones altérées et rejointoiement) ;
- la mise en place d'un dispositif d'auscultation du barrage ;
- la construction d'un nouvel organe de vidange de fond (l'ancien ayant été désaffecté) et d'un dispositif de restitution du débit réservé destiné au soutien d'étiage sur la Credogne.

1. Nivellement général de la France.

2. Le Centre d'ingénierie hydraulique (CIH) est la division d'EDF ayant en charge des missions d'ingénierie dans les domaines des ouvrages hydrauliques et éoliens, tant sur le plan national qu'international.

Les contacts

a. EDF-CIH, Savoie Technolac, 73373 Le Bourget du Lac Cedex
b. GCC, Département Étanchéité, 150 grande rue de Saint Clair, 69300 Caluire et Cuire

3. Polychlorure de vinyle.

Raisons du choix d'une étanchéité par géomembrane PVC³

Au stade de l'étude préliminaire du projet de réhabilitation, la restauration de l'étanchéité amont a été envisagée selon différentes techniques :

- la mise en œuvre d'une membrane synthétique solidaire du parement amont par maintien à l'aide de profilés métalliques ou synthétiques fixés au parement par ancrage. Cette membrane recouvre la majeure partie du parement amont, soit une surface d'environ 1 000 m². À ce stade, cette surface a été répartie en trois compartiments étanches entre eux, de sorte que si la membrane subissait un dommage entraînant des venues d'eau de la retenue, l'origine du désordre serait plus facilement localisée et l'ensemble du barrage ne serait pas remis en pression ;

- la mise en œuvre d'un voile de béton projeté fibré, après préparation de toute la surface du parement amont et mise en place d'ancrages pour solidariser le nouveau voile béton au barrage ;

- la réalisation d'un voile d'injections dans le corps et la fondation du barrage. Cette solution est en principe réservée pour le traitement ponctuel de défauts d'étanchéité, lorsqu'il n'est, en particulier, pas possible de mettre à sec la retenue, ce qui n'était pas le cas. En outre, l'expérience de ce type de travaux sur d'autres barrages s'est révélée peu satisfaisante au plan de la maîtrise des quantités de forages et d'injections à mettre en œuvre et de la qualification du résultat final. Il en résulte un fort aléa technique donc financier, pour un résultat souvent moins efficace qu'une étanchéité rapportée sur le parement amont. C'est pourquoi cette solution a été rapidement abandonnée.

Dans le cas du barrage de La Muratte, la solution d'une membrane synthétique présentait les avantages suivants :

- elle procure une étanchéité très efficace au droit des surfaces traitées et permet un drainage naturel du corps de l'ouvrage (un espace entre la membrane et le barrage étant alors laissé « à l'air libre ») ;
- la préparation de la surface à étancher se limitait à la purge des zones de faiblesse de l'enduit actuellement en place et à la mise en place de profilés de fixation de la membrane

(profilés métalliques ou synthétiques). En effet, cette surface ne nécessitait pas une reprise systématique ;

- sa conception peut intégrer des besoins supplémentaires tels que résistance aux chocs, résistance vis-à-vis de la formation de la glace en surface de retenue ;

- le délai de mise en œuvre était très vraisemblablement plus court que pour un béton projeté.

En outre, même si la mise en œuvre d'un voile en béton projeté procure une étanchéité efficace, elle aurait nécessité la réalisation d'un voile de drainage plus conséquent dont l'efficacité n'aurait sans aucun doute pas été comparable à celle du drainage derrière la membrane. De plus, la réalisation de joints de dilatation soigneusement traités aurait été nécessaire afin d'éviter la fissuration du fait des contraintes thermiques. Malgré ce traitement, le risque de fissuration, donc le risque de perte de la fonction recherchée, aurait été élevé du fait d'un comportement différentiel entre la maçonnerie du barrage et son nouveau parement amont en béton. C'est pour toutes ces raisons que cette solution d'un parement en béton n'a pas été retenue.

Par ailleurs, l'estimation du coût prévisionnel des travaux a montré un écart marginal entre ces deux solutions, ce qui a permis de convaincre le maître d'ouvrage de retenir la meilleure solution technique de restauration de l'étanchéité par géomembrane drainée.

Le choix a été retenu d'une géomembrane en PVC, car ce matériau bénéficie maintenant d'un retour d'expérience important sur les parements amont de barrage en béton, avec notamment des caractéristiques élevées de résistance au rayonnement ultra-violet.

Réalisation des travaux

Organisation mise en place par l'entreprise

La réalisation des travaux de réhabilitation a fait l'objet d'un marché public. L'ensemble des travaux de réhabilitation du barrage s'est inscrit dans le cadre d'un marché public unique qui a été attribué à l'entreprise Freyssinet spécialisée dans le génie civil. La fourniture et la pose du complexe d'étanchéité du parement amont par géomembrane PVC ont été sous-traitées à l'entreprise GCC-Génie civil et construction.

Les travaux en interface avec la réalisation du complexe d'étanchéité, ont été réalisés par le titulaire du marché et concernaient :

- la préparation du support par purge des zones épaufrées du parement amont et ragréage des surfaces ainsi purgées, la surface ainsi ragrée a représenté près de 360 m² pour 1 000 m² de surface totale ;
- la réalisation du système de drainage de la géomembrane ;
- la réalisation des ouvrages de génie civil pour tous les arrêts de l'étanchéité (couronnement, pied amont, arrêts latéraux, traitement du passage de la colonne de la vidange de fond).

Les difficultés de mise en œuvre ont concerné quasi exclusivement le traitement des interfaces avec les ouvrages de génie civil.

Principe du complexe d'étanchéité mis en œuvre

La solution retenue a consisté à installer une étanchéité rapportée sur le parement amont, sous la forme d'un complexe composé :

- de la géomembrane PVC Alkorplan® 435 (la géomembrane Alkorplan® 435 armée porte aussi la référence Alkorplan® 3525) armée et renforcée d'un géotextile non tissé accolé en usine. L'ensemble est tendu sur des profilés plats en acier inoxydable, fixés mécaniquement au parement amont ;
- d'une géogrille Landolt M4 500 g/m², intercalée entre le parement amont du barrage et la géomembrane, et assurant l'évacuation gravitaire d'éventuels débits de fuite de la géomembrane. Ce dispositif communique avec des collecteurs intégrés dans la longrine de pied amont du barrage et renvoie les éventuels débits de fuite à l'aval du barrage via la galerie de la vidange de fond.

Afin de pouvoir situer l'origine d'éventuelles fuites de la membrane en cours d'exploitation, celle-ci est délimitée en trois compartiments : un compartiment pour chaque rive et un compartiment central. À la demande du maître d'ouvrage, l'ensemble du complexe d'étanchéité bénéficie d'une garantie décennale.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

DE LA GÉOMEMBRANE MISE EN ŒUVRE

La géomembrane retenue est l'Alkorplan® 435 en PVC épaisseur 2 mm armée d'une grille polyester

obtenue par calendrage. La stabilisation aux ultraviolets avec formulation pour le sud de l'Europe permet de donner la garantie décennale pour une pose sans protection. Cette membrane est complexée en usine sur un géotextile non tissé de 500 g/m².

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

DE LA GÉOGRILLE MISE EN ŒUVRE

Le dispositif de drainage mis en place comprend les éléments suivants :

- une géogrille en PEHD⁴ de densité 500 g/m² et d'épaisseur 4 mm. Elle est fixée mécaniquement pour assurer un drainage entre le parement amont et la géomembrane. Sa fonction est de ramener en pied de barrage les eaux de condensation, d'infiltration ou de fuites éventuelles pour éviter la mise en pression de l'ouvrage ;
- trois drains collecteurs indépendants en pied de barrage sur la longrine pour les trois compartiments ;
- ces drains ressortent en aval et permettront ultérieurement de localiser le compartiment endommagé ;
- doublement de la géogrille en pied de barrage sur 1 m au-dessus de la longrine.

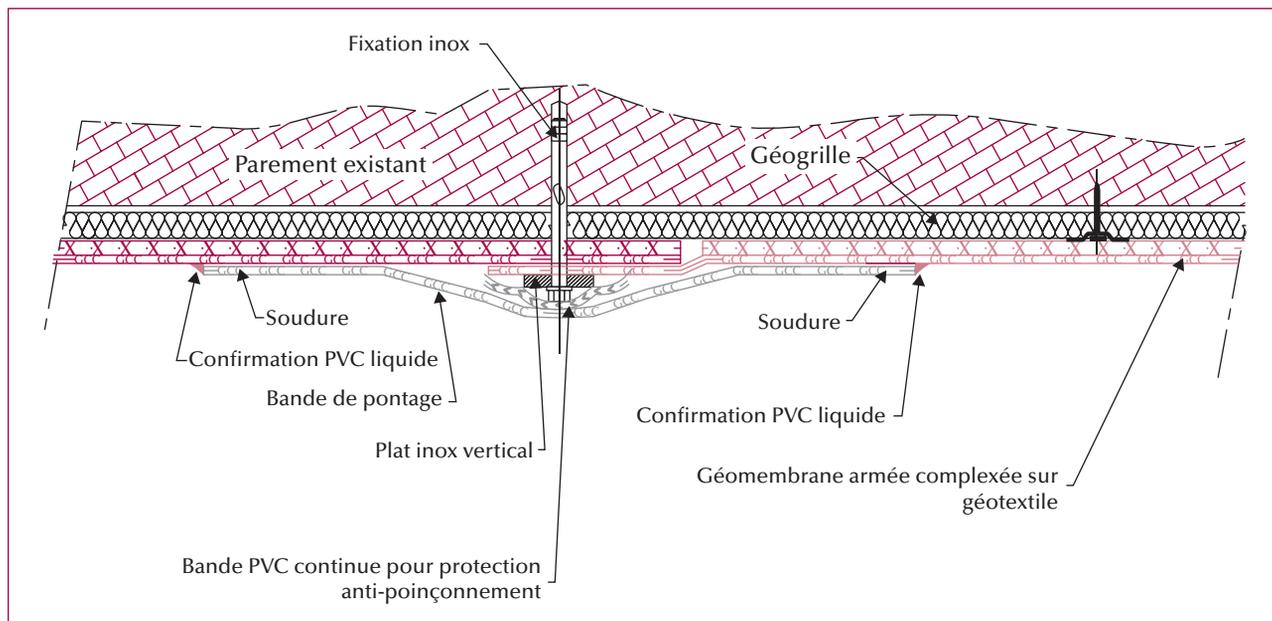
4. Polyéthylène haute densité.

Modes opératoires et dispositions constructives mises en œuvre

POSE DU COMPLEXE GÉOTEXTILE-GÉOMEMBRANE EN PARTIE COURANTE

Les travaux se sont déroulés de la façon suivante :

- le complexe est déroulé depuis le haut avec des lés de 2 m de largeur en continu jusqu'à la base du barrage ;
- la géomembrane ayant un allongement de 270 %, il est nécessaire de fixer chaque lé mécaniquement pour éviter que le complexe se déforme, lorsque la retenue est vide ;
- un plat inox de largeur 50 mm et d'épaisseur 5 mm vient fixer, au droit du recouvrement vertical, le complexe contre le parement ;
- la fixation de ce dispositif à l'aide de chevilles en inox Æ 8 mm. Celles-ci ont été testées préalablement à l'arrachement du fait du béton cyclo-péen rencontré, c'est-à-dire un béton maigre. Il a donc fallu ponter cette ligne de fixations avec une bande de compartimentage PVC soudée de



▲ Figure 1 – Étanchéité du barrage de La Muratte : détails de fixation des lés.

part et d'autre du profilé (soudure à l'air chaud). Un point important avant la pose du plat inox est de bien tendre la membrane en remontant les éventuels plis. La figure 1 ci-dessus précise les dispositions de détails mises en œuvre en partie courante.

RÉALISATION DES ARRÊTS D'ÉTANCHÉITÉ

Les points sensibles d'une telle étanchéité sont bien entendu les arrêts latéraux et bas du complexe. Les dispositions particulières adoptées sont présentées par la figure 2 :

- pour que la géomembrane ne se tende pas sur le haut de la longrine, il faut fixer mécaniquement le complexe à plat tout le long de la longrine ;
- sur le retour vertical de la longrine, un joint d'arrêt d'eau en PVC est positionné lors du bétonnage et la géomembrane est soudée sur ce joint ;
- l'arrêt haut est réalisé de la même manière qu'au droit des recouvrements par la fixation du complexe par le plat inox. À noter que la géogrille venait jusque sous les plats inox pour laisser agir l'air emprisonné entre l'étanchéité et le béton s'échapper lors des remontées du niveau d'eau.

CONTRÔLES

Toutes les soudures ont été contrôlées à la pointe sèche par le chef de chantier d'une part, et par le correspondant qualité du département « Étan-

chéité » d'autre part. De plus, les soudures ont toutes été confirmées au PVC liquide.

Maîtrise d'œuvre, retour d'expérience

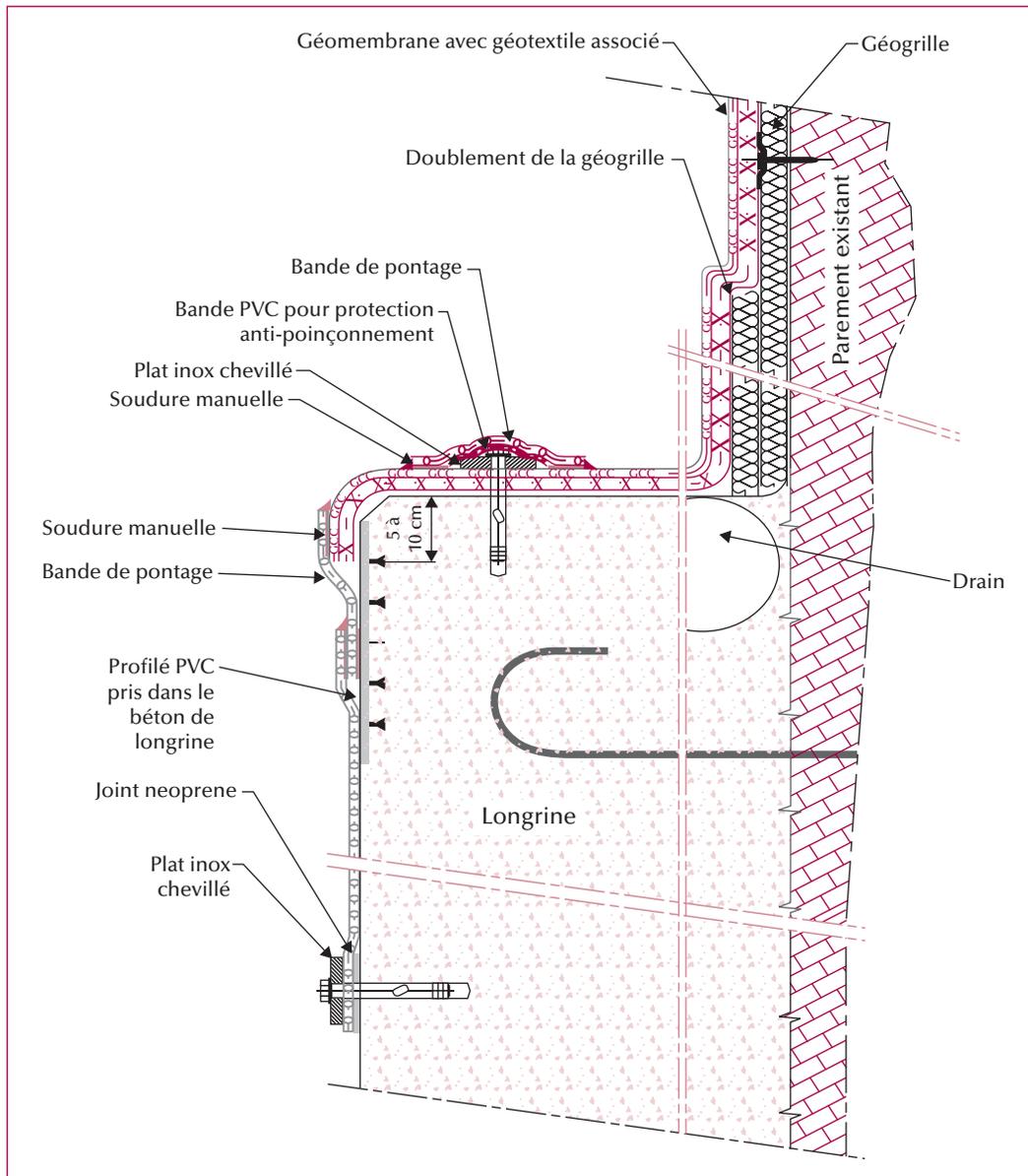
La mise en œuvre du complexe d'étanchéité a fait l'objet d'une attention particulière partagée par la maîtrise d'œuvre et l'entreprise, à travers le plan qualité. Le traitement des points singuliers du complexe tels que les arrêts d'étanchéité, le traitement des points triples, etc., tout comme la définition de l'ensemble des matériaux mis en œuvre, ont fait l'objet d'une préparation minutieuse entre l'entreprise et la maîtrise d'œuvre, au stade des études d'exécution.

Malgré les soins apportés sur le chantier, des non-conformités et difficultés de mise en œuvre sont apparues au droit des arrêts d'étanchéité notamment, et ont donné lieu à la mise en œuvre de dispositions complémentaires visant à garantir la fonction d'étanchéité et sa pérennité.

Arrêts d'étanchéité sur la longrine de pied amont du barrage

À différents endroits, les ancrages du joint d'arrêt d'eau n'ont pas été suffisamment pris dans le béton, notamment dans les rampants latéraux, par suite d'une vibration insuffisante.

Il a donc été décidé de reprendre ces zones au mortier de résine pour faire l'arrêt initialement



◀ Figure 2 – Étanchéité du barrage de La Muratte : principe d'arrêt en pied.

prévu, mais aussi de créer un arrêt supplémentaire en dessous de ce joint d'arrêt d'eau par la pose d'un plat inox et d'une bande de géomembrane de pontage (figure 2).

Retours d'étanchéité sur les rives

De part et d'autre du parement amont ont été réalisées des contre-voiles béton verticales dans la continuité de la longrine.

Il fallait étancher le joint sec ainsi créé. Un retour de la géomembrane fixée mécaniquement par le plat inox a donc été créé.

Les angles 3 plans à la jonction avec la longrine ont été confirmés par des pièces PVC manufacturées en usine.

Retour d'expérience

Il faut tout de même préciser, qu'en dehors de ces problèmes évoqués ci-dessus, le chantier s'est déroulé dans des conditions techniques, climatiques et hydrologiques favorables.

Les cinq semaines continues de travaux d'étanchéité ont été réalisées par une météo clémente.

Les basses températures et le vent peuvent bien entendu engendrer des arrêts de chantier.

Il faut apporter un soin tout particulier à la réalisation des ouvrages de génie civil recevant les arrêts d'étanchéité. En particulier, l'insuffisance de vibration du béton dans cette longrine est imputable à la pente des rives du barrage rendant difficiles les conditions de mise en œuvre des coffrages. Pourtant, cette zone sensible devait être particulièrement soignée, s'agissant du pied amont du barrage où la pression est la plus élevée.

Conclusion

La réalisation des travaux d'étanchéité du barrage a débuté en août 2004 avec la préparation du sup-

port (repiquage et ragréage des surfaces altérées et reprise des irrégularités). Elle s'est achevée mi-octobre 2004. Les délais des différentes phases ont été tenus.

Pour les parements amont de barrage poids-béton, la solution d'étanchéité par un complexe géosynthétique est adaptée techniquement aussi bien par le service rendu qu'au point de vue de la rentabilité économique (coût, délai, taille de l'ouvrage), au-delà d'une surface de quelques centaines de mètres carrés.

En revanche, il importe d'attacher une importance particulière au traitement des points singuliers que sont les arrêts d'étanchéité. Pour ce faire, la sensibilisation de l'entreprise de génie civil aux exigences de mise en œuvre est fondamentale. □

Résumé

L'étanchéité du parement amont du barrage poids de La Muratte, vieux de 100 ans, a été restaurée par la mise en œuvre d'un complexe géomembrane PVC, géotextile, géogrille. Les travaux ont eu lieu durant l'été 2004. Les points sensibles du chantier ont concerné la réalisation des arrêts d'étanchéité sur le génie civil (traitement des bords latéraux et inférieurs de l'étanchéité). La réussite d'un tel chantier se joue tout particulièrement lors de sa préparation. Cette phase clé qui se joue pour l'entreprise et le maître d'œuvre, concerne autant la mise au point des dispositions de détail du génie civil et de mise en œuvre, que le choix et l'adaptation éventuelle de l'outil de pose.

Abstract

The waterproofing of the upstream face of the "La Muratte" gravity Dam, 100 years old, has been improved by adding a lining : PVC geomembrane + geotextile + synthetic mesh. The works took place during the summer 2004. One of the major issue at site was the treatment of the ends of the lining (treatment of the edges on side and at the toe of the lining). The preparation in advance of the works is important. Both the Contractor and the Engineer in Charge are involved in this key task during the detailed design stage, during the release of the method statement and the choice and adaptation of tools.