

Réhabilitation de la protection contre les inondations de Tarascon - un panel d'ouvrages variés : la digue de la Montagnette, le château Royal de Provence aux pieds dans le fleuve et un ancien quai

Rehabilitation of flood protection in Tarascon - a variety of works: the Montagnette dike, the Royal Castle of Provence at the foot of the river and an old quay

Matthieu GILBERT¹, Eric VUILLERMET¹, Thibaut MALLET², Pascal MERCIER²

¹ BRL Ingénierie, Nîmes, matthieu.gilbert@brl.fr

² SYMADREM, Arles, thibaut.mallet@symadrem.fr

Résumé

La digue de la Montagnette assure la protection contre les crues du Rhône au Nord de Tarascon, depuis le centre-ville où elle est sous forme d'anciens quais jusqu'au massif de la Montagnette 6 km au Nord où elle est constituée de remblais. Ce dispositif intègre une singularité : le château Royal de Provence.

Les quais, d'un linéaire de 700 m, sont constitués par deux parements verticaux en pierres de taille insérant un remblai hétérogène comportant un revêtement bitumineux fissuré qui n'isole plus le corps de quai des infiltrations pluviales.

Le renforcement des quais de Tarascon s'est opéré en 2014 par des travaux de rejointoiement et de réfection des pierres de taille des parements constituant l'ouvrage ainsi que des murs sommitaux. Sur le parement coté ville, des tubes éjecteurs ont été forés afin de gérer le risque lié aux écoulements internes en cas de crue exceptionnelle.

Le Château Royal de Tarascon s'est avéré le principal point d'entrée d'eau dans la ville lors de la crue de 2003. Sa façade fera l'objet en 2018 d'un rejointoiement par voie acrobatique. Des ouvertures donnant sur le Rhône seront sécurisées.

La digue de la Montagnette représente un linéaire de 4 600 m entre le Château et les premiers reliefs.

Digue en remblai, son parement amont incliné était protégé par un masque béton dégradé et fissuré. Les travaux de confortement ont consisté en la réalisation en 2015 d'un nouveau masque par béton projeté ancré sur le support d'origine. La surface traitée représente 30 000 m² sur 4 km.

Le parement côté protégé sera réaménagé en 2018 avec la mise en œuvre d'un filtre (géotextile) et d'un masque drainant constitué de petits enrochements.

Mots-Clés

Digue ; inondation ; monuments historiques ; travaux ; béton projeté.

Abstract

The Montagnette dike provides flood protection against the Rhône River north of Tarascon, from the city centre where it is in the form of old quays to the Montagnette massif 6 km to the north where it is made up of embankments. This system incorporates a singularity: the Royal Castle of Provence.

The 700m long quays are made up of two vertical dressed stone facings that insert a heterogeneous backfill with a cracked bituminous pavement that no longer isolates the quay body from rainwater infiltration.

The reinforcement of the Tarascon quays was carried out in 2014 through work to repoint and repair the cut stones of the facings that make up the structure and the top walls. On the city side facing, ejector tubes were drilled to manage the risk associated with internal flows in the event of an exceptional flood.

The Royal Castle of Tarascon was the main point of entry of water into the city during the 2003 flood. In 2018, its facade will be repointed by acrobatic means. Opening onto the Rhône will be secured.

The Montagnette dike represents a 4600 m line between the Château and the first foot Hills.

Its inclined upstream facing was protected by a degraded and cracked concrete mask. The reinforcement work consisted in the construction in 2015 of a new mask made of sprayed concrete anchored on the original support. The treated area represents 30,000 m² over 4 km

The protected side facing will be redesigned in 2018 with the use of a filter (geotextile) and a draining mask made of small rockfill.

Key Words

Dyke; flood; historical monuments; works; shotcrete

Les intervenants

Le Syndicat Mixte Interrégional d'Aménagement Des Dignes du Delta du Rhône et de la Mer (SYMADREM) a missionné BRL Ingénierie pour réaliser la maîtrise d'œuvre complète relative à la réhabilitation de la digue de la Montagnette, des quais du Rhône et du mur du Château Royal de Tarascon (département des Bouches-du-Rhône). Ces ouvrages sont inclus dans le système d'endiguement de la rive gauche du Rhône, qui a été autorisé le 24 avril 2018 au titre du R.562-14 du code de l'environnement. Les travaux s'inscrivent quant à eux dans le cadre du programme de sécurisation des ouvrages de protection contre les crues du Barrage de Vallabrègues à la Mer (Plan Rhône) conduit par le Symadrem. Ce programme comprend :

- 25 km de digues dites « résistantes à la surverse », calées à une cote de protection, variant de 10 à 100 ans, suivant les enjeux situés à proximité ;
- 200 km de digues dites « millénales », non prévues pour résister à la surverse, calées 50 cm au-dessus du niveau atteint par la crue, qualifiée d'exceptionnelle, du Rhône, dont la période de retour est d'environ 1000 ans (la cote atteinte par la crue exceptionnelle correspond à la cote de sûreté appelée également cote projet et la cote de l'ouvrage à la cote de danger) ;
- des digues de protection rapprochée ou de 2^e rang, au droit des zones à enjeux.

Compte tenu de son ampleur, le programme de sécurisation a été découpé en plusieurs opérations, dont la présente, qui concerne le tronçon de digues « millénales » situé en amont du système.

Les études de conception ont débuté en 2010 par la réalisation du diagnostic des ouvrages. L'appel d'offre pour la réalisation des travaux sur le renforcement masque amont de la digue et des quais a été lancé en 2013, et c'est un groupement d'entreprises Vinci (mandataire COFEX) qui a été retenu pour une durée d'exécution de 1 ans.

Le contexte

La digue de la Montagnette assure la défense contre les crues du Rhône de la zone protégée « Rive Gauche du Rhône » qui couvre 320 km² et protège plus de 55 000 personnes.

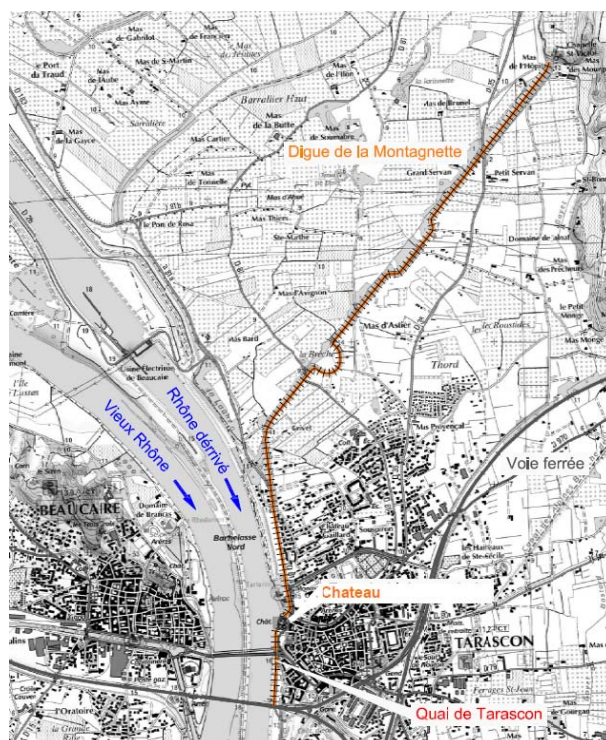


FIGURE 1 - LOCALISATION DES OUVRAGES (SOURCE : BRLI)

Le diagnostic préalable aux études de conception a mis en évidence de nombreuses défaillances dans ce dispositif de protection.

La digue de la Montagnette

La digue de la Montagnette est composée :

- d'un corps de digue en remblais ;
- d'un parement amont en béton ;
- d'un muret sommital ;
- la piste en crête n'a pas de revêtement spécifique ;
- le talus aval est enherbé, sans protection particulière.

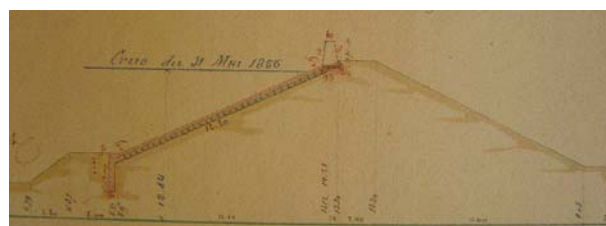


FIGURE 2 - COUPE TYPE DE LA DIGUE DE LA MONTAGNETTE (1840) (SOURCE : ARCHIVES DEPARTEMENTALES DU VAUCLUSE)

La digue de la Montagnette comportait avant travaux un parement béton dégradé avec des fissurations récurrentes. La fonction d'étanchéité de ce masque n'était plus assurée.

Les pierres constitutives du muret sommital étaient disjointes. La cote de l'ouvrage assurée par ce muret était inférieure (de l'ordre du décimètre) à la cote visée par le SYMADREM pour les digues millénales.

Par ailleurs, ce muret était discontinu au droit des franchissements routiers et franchissement pédestre sur la digue.

De nombreux réseaux secs et humides traversaient également le corps de la digue.

Enfin, la présence d'une habitation (logement du garde-digue) sur le talus aval constituait une singularité dans l'approche de solutions de confortement.

Les quais

Les quais sont constitués de deux parements construits en pierres de taille maçonnées. L'espace entre les parements amont et aval est comblé de remblais peu étanches de type gravats.

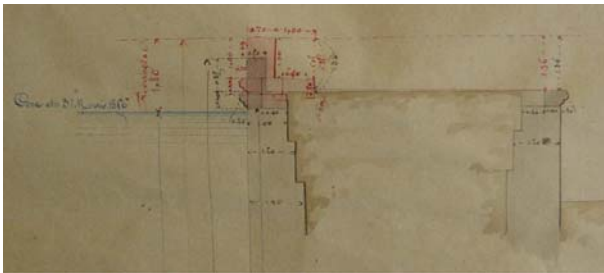


FIGURE 3 - COUPE TYPE DES QUAIS (1860) (SOURCE : ARCHIVES DEPARTEMENTALES DU VAUCLUSE)

La crête (promenade), avant travaux, était revêtue par un enduit bitumineux bicouche. Un parapet en pierre cale la cote de l'ouvrage sur la promenade.

Les quais étaient marqués par une disparition des joints, des traces d'infiltrations, des fissurations, des arbres sur le parement aval, des percements dans le parapet, des échancrures dans le parapet permettant le franchissement des piétons.

Des réseaux traversaient l'ouvrage.

Le Château Royal de Provence

Le Château est érigé en pierres de taille maçonnées sur un socle calcaire. Sa façade en contact avec le Rhône en période de crue montre une importante usure des joints.

Des arbustes se sont développés sur la façade.



FIGURE 4 : VUE DU CHATEAU DEPUIS LE FLEUVE (©BRLI)

Des meurtrières sont présentes sur la façade ainsi qu'une

ouverture importante : la porte de la Poterne. Lors de la crue du Rhône de 2003, des entrées d'eau, suite à la rupture du batardeau en bois qui condamnait cette porte, ont inondé les abords du Château.



FIGURE 5 - VUE DU BATARDEAU SUR LA POTERNE (© BRLI)

Enfin, une inspection par voie fluviale en période de fort étiage a permis la découverte d'une tour puits qui n'avait encore jamais été inspectée ; son accès coté Rhône étant le plus souvent immergé. Cette tour-puits était en communication avec la cour du château. Les joints des murs intérieurs de cette tour, comme la façade extérieure, sont très détériorés.

Les travaux de renforcement du parement amont de la digue et des quais

Les travaux ont débuté en septembre 2013 et se sont achevés en août 2014.

Les travaux de renforcement du parement amont

Les interventions sur le parement amont de la digue ont compris :

- Le nettoyage et l'étanchéisation par béton projeté des plaques béton sur le parement amont de la digue,
- Le nettoyage et le rejointoiement de parements de digue en pierres de taille ainsi que du muret sommital en crête de la digue. Le muret a été rehaussé par scellement d'une pierre de couronnement,
- Des interventions ponctuelles consistant en : la réalisation d'une paroi étanche, l'équipement de batardeaux amovibles en aluminium au droit des franchissements routiers et piétons, la sécurisation de réseaux traversants vis-à-vis de l'érosion interne (écrans anti-renard drainés).

Le traitement par béton projeté du parement en béton a été

appliqué sur 35 000 m².



FIGURE 6 : SCHEMA DE PRINCIPE DE SCHELLEMENT DE CONNECTEUR DANS LE SUPPORT EXISTANT (© ASQUAPRO - ETAT DES CONNAISSANCES SUR LE DIMENSIONNEMENT DU BETON PROJETE)

Préalablement à la projection, un treillis soudé a été fixé à l'aide de connecteurs. La simple pose des connecteurs représentait 160 000 percements et scellements. L'intervention de nombreuses personnes sur un parement incliné soumis aux aléas climatiques représentait un risque fort en termes de sécurité (chutes avec route en contrebas). L'entreprise COFEX Méditerranée a donc conçu une rampe de perforation.



FIGURE 7 : RAMPE DE PERFORATION (© COFEX Méditerranée)

Cette rampe, manipulée par deux intervenants a permis le percement simultané de 16 trous.



FIGURE 8 - PROJECTION DU BETON PROJETE (© COFEX MEDITERRANEE)

La projection du béton par voie sèche a été effectuée par nacelle. Le béton de projection, appliqué sur 7 cm d'épaisseur, était de type C25\30 XD1 dosage minimum en ciment 300 kg/m³.

La finition de surface a été faite par dressage à la règle

Les **travaux de rejointoiement des parements de la digue** ont nécessité au préalable un piquage des joints anciens.



FIGURE 9 : OPERATION DE PIQUAGE DES JOINTS (© BRLI)

Le rejointoiement, qui représentait une surface de l'ordre de 10 000 m², a été réalisé par projection minutieuse dans les entre-pierres d'un mortier avec un pistolet spécial équipé de buses.

Pour assurer la cote « millénaire » visée par le SYMADREM, le muret sommital a été rehaussé par la pose de pierres de couronnement en calcaire.



FIGURE 10 : ATTEINTE DE LA COTE « MILLENALE » PAR POSE DE PIERRES DE COURONNEMENT (© BRLi)

Les 6 discontinuités du muret sommital (franchissements routiers et pédestres) ont été équipées de batardeaux amovibles en aluminium. La section la plus problématique a été la route départementale n°35, avec un linéaire de 13 mètres à sécuriser. Le batardeau a nécessité des poteaux intermédiaires amovibles. Des réservations nécessaires à leur fixation ont été réalisées sous la couche de roulement de la voie. Elles ont été intégrées dans des regards fermés par un tampon équipés d'un revêtement antidérapant pour la sécurité des deux-roues.

Les principales contraintes de ces travaux ont été les suivantes :

- le vent, tout particulièrement le mistral à dominante Nord, qui véhiculait hors des emprises travaux les poussières émanant de la projection du béton ;
- en cas de température inférieure à 5 °C ou supérieure à 35 °C, la projection ne pouvait être réalisée ;
- la nécessité de projeter le béton depuis le pied coté fleuve de la digue à l'aide d'une nacelle, la crête étant de largeur insuffisante.

Les travaux de renforcement des quais

Concernant les quais, les opérations suivantes ont été réalisées :

- rejointoiement des parements amont et aval des quais, et comblement des trous,
- creusement d'une tranchée de profondeur 1 m en pied amont du quai, remplie de grave ciment pour assurer l'étanchéité du parement en partie enterrée ;
- fonçage de tubes éjecteurs dans le parement aval pour assurer le drainage du quai ;
- réfection de la promenade en crête. Un béton désactivé a permis d'assurer une étanchéité entre les parements amont et aval et mettre fin aux infiltrations dans le corps de l'ouvrage.



FIGURE 11 : PAREMENT REJOINTOYE AVEC EQUIPEMENT DE TUBES EJECTEURS (© BRLi)

- sécurisation d'un réseau traversant d'eaux usées par la technique de chemisage structurant et équipement d'une vanne de sécurité à l'aplomb amont du quai ;
- retrait des autres réseaux qui ont été dévotés.

Les principales contraintes des travaux au droit des quais étaient liées au contexte urbain. L'objectif était de minimiser les nuisances et de prendre en compte les voiries circulées en pied immédiat de l'ouvrage.

Le montant des travaux relatifs au renforcement du parement amont de la digue et des quais a représenté 6 552 650 €TTC. Le coût relatif à la mise en œuvre du béton projeté était de l'ordre de 60 € HT/m². Le rejointoiement des parties maçonnées représentait 39 €HT/m².

Les travaux à engager sur le parement aval de la digue et le Château

Cette deuxième tranche de travaux porte sur la restructuration du parement aval de la digue et les murs du Château. Le chantier débutera à l'automne 2018, quatre ans après l'achèvement des travaux sur le parement amont et les quais. Ce retard s'explique par des démarches nécessaires pour l'acquisition des terrains nécessaires aux travaux et l'obtention de l'autorisation d'intervention sur le Château délivrée par la Direction Régionale des Affaires Culturelles.

La restructuration du parement aval de la digue

La restructuration de la digue vise à homogénéiser la largeur de la crête de l'ouvrage ainsi que la pente du talus aval au rapport de 1V/2,5H. Un masque aval viendra protéger le talus aval des risques liés à l'érosion interne.

Dans le cadre de l'étude de dangers du système d'endiguement « Rive Gauche du Rhône », des modélisations

de crues extrêmes ont été réalisées pour cerner le comportement du système au-delà de la crue millénale. Les tronçons concernés situés en amont du système sont les premiers tronçons de digue millénale à déverser en dehors de la digue résistante à la surverse prévue en aval de Tarascon. Pour une crue d'occurrence 5000 ans, la hauteur du déversement n'excède pas 15 cm sur le muret.

Afin de protéger la digue de l'érosion externe en cas de surverse pour une crue extrême supérieure à la crue de projet, les aménagements suivants seront réalisés :

- protection de la crête de la digue par une grave ciment (à la place de grave non traitée)
- mise en place de petits encochements 100/300 mm pour constitution du massif drainant sur le parement aval (à la place de graviers initialement prévus). Les encochements sont de blocométrie supérieure 540 à 690 kg en pied de parement - partie de l'ouvrage la plus sollicitée ;
- le massif drainant sera recouvert d'une couche de terre végétale. Entre ces deux couches, Une nappe d'accroche sera intercalée afin d'éviter la percolation dans le drain et maintenir la terre sur le talus.

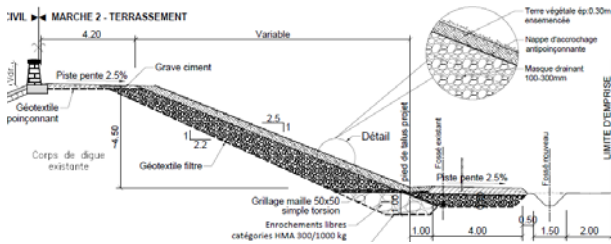


FIGURE 12 : COUPE DES TRAVAUX SUR LE PAREMENT AVAL - SOURCE : BRLI

- La présence très proche d'habitation sur certains points du linéaire nécessite de réduire l'emprise du parement aval. Il sera mis en place des gabions (figure 12) qui joueront un rôle de soutènement et de drains aval.

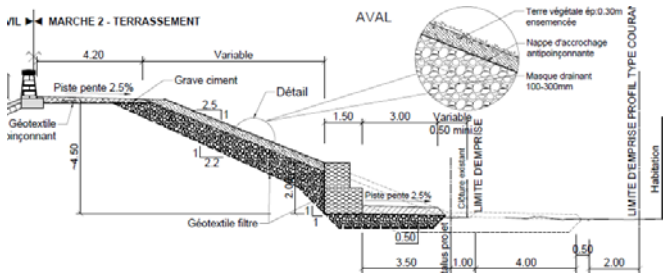


FIGURE 13 - COUPE SPECIFIQUE SUR LE PAREMENT AVAL EN ZONE CONTRAINTE - SOURCE : BRLI

La sécurisation hydraulique du Château

BRL ingénierie s'est associé au cabinet Architecture & Héritage pour la finalisation de la conception et la direction des travaux à venir.

Les interventions programmées concernent en premier lieu le rejointoiement de la façade et des remparts sur les surfaces exposées à la crue millénale.

L'accès à la façade nécessitera la mise en place de moyens acrobatiques avec des échafaudages de pied et échafaudage en bascule.

Le rejointoiement concerne aussi la tour-puits

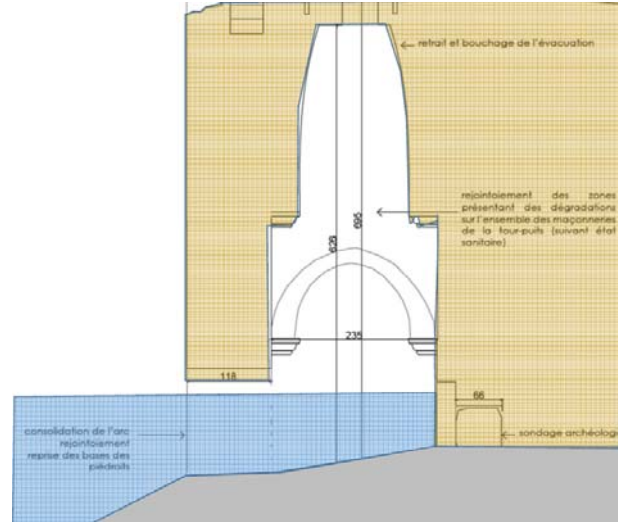


FIGURE 14 - VUE EN COUPE DE LA TOUR-PUITS - SOURCE : ARCHITECTURE & HERITAGE, BRLI

La conception d'un nouveau batardeau pour sécuriser la porte de la poterne intègre les prescriptions propres à ce monument historique : absence de percement, l'aménagement doit être réversible.

Le batardeau prévu est un caisson formé de deux plaques verticales en acier reliées par des tirants. L'espace est rempli par du sable contenu dans une membrane étanche. Outre le rôle de stabilisateur de la structure de par son poids, l'emploi de sable permet d'épouser les irrégularités des murs latéraux du château.

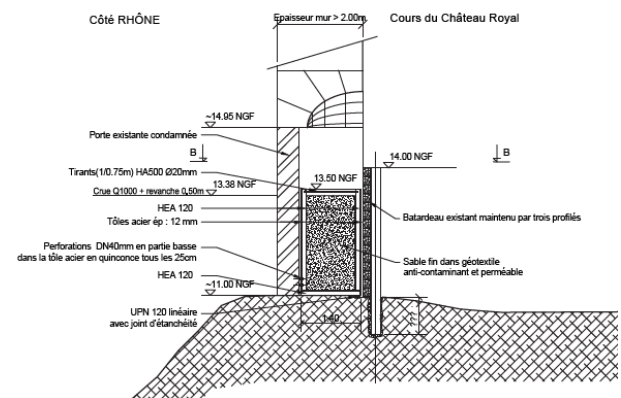


FIGURE 15 - SCHEMA DU BATARDEAU CAISSON AUTO-PORTANT AU DROIT DE LA POTERNE - SOURCE : BRLI

Les autres ouvertures exposées aux crues seront murées par pierres de taille.

Les principales contraintes de ces travaux sont les suivantes :

- la nécessité d'intervention par voie acrobatique sur la façade du château, ceci au-dessus du fleuve.
- la mise en œuvre de moyens nautiques pour permettre l'évacuation des arbres, arbustes abattus et pour l'approvisionnement du chantier : mortier de chaux, moellons... ;
- la prise en compte des variations de débits du Rhône, notamment pour l'accès fluvial dans la tour-puits et les rejointoiements en partie basse de la façade ;
- les conditions météorologiques, en particulier le vent pour les travaux sur échafaudage ;
- le respect de l'ouvrage à forte valeur patrimoniale induisant une exécution à très faible rendement par du personnel spécialisé dans la restauration de monuments historiques

Le montant des travaux relatifs au renforcement du parement aval de la digue et de sécurisation du château est estimé à 6 500 000 €TTC. La durée des travaux est estimée à 8 mois.

Conclusion

Le système de protection contre les crues de la ville de Tarascon est hétérogène ce qui nécessite des procédés de réhabilitation adaptés et diversifiés.

Les travaux de renforcement du dispositif font appel à des compétences bien spécifiques et ainsi à des entreprises spécialisées : béton projeté, béton désactivé, chemisage, rejointoiements de pierres maçonnées, restauration de monuments historiques...

Les travaux de renforcement ont par ailleurs été le lieu d'innovation par la création d'une rampe perforatrice. Cette machine imaginée spécifiquement pour le chantier a permis d'optimiser la sécurité des intervenants ainsi que les délais par augmentation des rendements.