

Augmentation de la capacité de passage des crues du barrage de Malarce - construction d'un PKW

Spillway capacity upgrade at Malarce dam : construction of an additional piano key weir spillway (PKW)

Thomas PINCHARD, Jean-Louis FARGES
EDF-CIH, Savoie Technolac, 73373 Le Bourget du Lac Cedex
thomas.pinchard@edf.fr

Jean-Marie Boutet, Alexandre Lochu, Frédéric Laugier
EDF-CIH, Savoie Technolac, 73373 Le Bourget du Lac Cedex

MOTS CLÉS

Evacuateur de crues, Piano Key Weir, tirants précontraints, dissipation d'énergie, coursier

RÉSUMÉ

L'étude hydrologique du barrage de Malarce a été remise à jour en 2008 et a montré un sous-dimensionnement de la capacité d'évacuation des crues du barrage. Le déficit est d'environ 600 m³/s pour une crue de projet de 4600 m³/s. La solution qui a été jugée optimale pour ce projet, consiste en la réalisation d'un évacuateur de type Piano Key Weir (PKW) implanté sur la culée rive droite du barrage. Le projet est constitué du nouvel évacuateur de crues ainsi que d'un tapis de réception permettant de protéger le rocher sur les rives ainsi que le pied du barrage, de toute érosion régressive. Ce PKW est l'ouvrage de ce type le plus important en France, avec une hauteur de 4.9 m et une largeur de 42.5 m. Afin d'assurer correctement la fonction de protection du tapis de réception, des ouvrages de dissipation d'énergie permettant de rejeter le flux du PKW à l'aval du barrage ont été construits. Les travaux se sont déroulés de novembre 2011 à novembre 2012, et la mise en eau s'est déroulée de novembre à décembre 2012. Depuis sa mise en eau, le PKW a déversé à plusieurs reprises et aucun désordre n'a été constaté. La communication présente la conception, la construction et la mise en service de cet évacuateur de crues. Etant donnée la fréquence de fonctionnement de cet évacuateur (annuelle), le PKW est instrumenté, de manière à tirer un retour d'expérience sur le fonctionnement d'un PKW grandeur nature.

ABSTRACT

The Malarce dam is located on the Chassezac river in southern France. The design flood estimate was 4000 m³/s at the construction of the dam. Recent hydrologic surveys increased the design flood up to 4600 m³/s, resulting in a 600 m³/s shortage for existing spillways. The optimum solution designed by EDF-CIH was to implement a PKW labyrinth weir on the right side of the dam, next to the third gated weir of the dam. The use of a free-flow spillway versus a gated weir was necessary to increase the safety of the dam in case of worst-case scenarios. Indeed, it needs no energy or human presence to operate. This is enhanced by the very fast flow rise that could occur during exceptional floods (1400 m³/s/hr in case of a 1000 year return period flood).

To anchor the PKW to the dam, and to improve the dam's stability, 12 prestressed cable units were used. The concrete lining, whose function is to carry the 600 m³/s flow down to the riverbed without risking scour at the dam toe, is another work almost as complex as the new weir.

This paper will focus on the design of the spillway and its dissipation works, the problems encountered during construction and the instrumentation that will be integrated in the spillway to monitor the spillway during floods.

This is the sixth PKW to be built on a dam owned by EDF, and it should overspill at least once a year at 200 m³/s, which is about the third of its design flow (50 cm head).

The construction started in November 2011 and lasted 13 months

1. CONTEXTE

Le barrage de Malarce a été construit en 1969 sur la rivière Chassezac. C'est un barrage poids en béton de 31.4 m de hauteur sur fondations équipé de 3 vannes segments fermant des pertuis de 14 m de largeur par 11.5 m de hauteur. La réévaluation des crues extrêmes grâce à une nouvelle étude hydrologique, a conduit à la réalisation d'un nouvel évacuateur de crues permettant d'augmenter la capacité du barrage sous la cote des Plus Hautes Eaux de près de 600 m³/s.

Le Chassezac est soumis à un régime de crues cévenol, et la montée des débits peut être très rapide, atteignant une valeur de 1300 m³/s/h pour la crue millénale, dont le débit de pointe a été estimé par EDF-DTG avec la méthode Schadex à 4600 m³/s. Etant donné le gradient de montée très important, EDF a décidé d'implanter un nouveau seuil qui se devait d'être autonome, ne requérant ni énergie ni présence humaine pour fonctionner. Ainsi, seul un évacuateur à seuil libre était adapté. Etant donné la configuration du barrage et de la vallée, seul un évacuateur de type Piano Key Weir pouvait assurer l'efficacité hydraulique nécessaire.



Figure 1 : Photographie du barrage de Malarce vu d'amont rive gauche avant et après la réalisation du nouvel évacuateur de crues PKW.

Chacune des vannes segment est équipée en partie supérieure d'un clapet dont la manœuvre est asservie au plan d'eau, l'objectif étant de réguler la retenue à la cote de RN. Pour des raisons de sûreté, et en raison de la grande dimension des évacuateurs de crues, les vannes n'ont pas d'automatisme d'ouverture et la présence de l'exploitant est impérative pour la manœuvre des vannes.

L'amélioration de la sûreté du barrage de Malarce par la création d'un PKW ne se limite donc pas à la seule augmentation de 15% de la capacité d'évacuation des crues à la cote de PHE. C'est l'augmentation de la capacité d'évacuation pour des scénarios dégradés extrêmes (absence de l'exploitant ou perte d'énergie principale et secours) qui constitue le réel gain en sûreté.

En complément, le PKW apporte une souplesse d'exploitation puisqu'il fonctionne en premier, sous une charge de 50 cm, avant que la régulation par les clapets n'intervienne.

2. CONCEPTION DE L'EVACUATEUR DE CRUES

Des essais ont été réalisés sur modèle réduit physique par EDF-LNHE ([1] et [2]), et ont permis de mettre au point un PKW de 42.5 m de largeur fonctionnant sous une charge nominale de 1.5 m. Ce PKW présente un porte à faux de plus de 6.5 m à l'amont et de 2 m à l'aval. Il est composé de 12 bacs inlets et 12 bacs outlets. A l'aval, un tapis de réception en béton armé protège le rocher de toute érosion et des ouvrages en pied de ce coursier (cuillère et murs déflecteurs) permettent de dissiper de l'énergie et de se prémunir de tout risque d'érosion en pied de barrage.

Douze tirants précontraints verticaux ont été réalisés afin d'améliorer la stabilité du barrage. Ils permettent aussi d'assurer la liaison entre le PKW et le barrage. Le rideau de drainage existant a été amélioré et deux nouveaux pendules et deux nouveaux piézomètres sont venus renforcer le dispositif d'auscultation.

De nombreux dispositifs ont été conçus de manière à assurer l'étanchéité à l'interface du PKW et du barrage ainsi que l'étanchéité et le drainage du coursier.

3. CONSTRUCTION

La construction a démarré en novembre 2011 pour se terminer en novembre 2012. Plus de la moitié de la durée du chantier a été consacrée à la préparation des opérations de construction (accès, démolition et terrassements). A l'emplacement actuel du PKW, il a fallu démolir plus de 800 m³ de béton de grande qualité. Cette démolition a été réalisée à l'aide d'explosifs après un sciage au câble diamanté pour dissocier les deux structures. Afin de s'assurer que les vibrations associées à cette démolition allaient être sans conséquences sur l'intégrité du barrage existant, une analyse modale spectrale avec un modèle 3D du barrage a été réalisée et a permis de fixer un seuil de 50 mm/s en tête de l'ouvrage sur la bande 5-10 Hz. Les terrassements rocheux ont été réalisés de manière plus classique par des moyens mécaniques. Sur cette sixième réalisation de PKW par EDF, une innovation a été apportée par le titulaire du marché, l'entreprise Campenon Bernard Regions. Des coupleurs permettant de préfabriquer les cages d'armatures des voiles et de gagner du temps sur leur raccordement aux inlets et outlets ont été employés.



Figure 2,3 : Culée rive droite en cours de démolition (gauche) et cage d'armatures préfabriquée sur site pour un voile (droite)

La construction du coursier a été un réel défi car les formes à réaliser étaient complexes afin de respecter la géométrie testée sur modèle réduit. Les pentes de l'ouvrage (75%), ont causé des sujétions de réalisation importantes pour les terrassements, les ancrages, le dispositif de drainage et le coffrage.



Figure 4,5 : Coursier en cours de construction (gauche) et ouvrages de dissipation d'énergie (droite)

Le barrage de Malarce était équipé d'une galerie de drainage dont le seul accès était situé au milieu de la culée rive droite. L'implantation du PKW a donc obligé à prolonger cette galerie dans la base du PKW, de réaliser un puits d'accès en rive droite et d'équiper la passe PKW par une passerelle métallique de franchissement. Ces travaux ont été l'occasion d'améliorer le dispositif d'auscultation du barrage ainsi que son voile de drainage.

L'effectif du chantier était d'environ 30 personnes en moyenne avec des pointes à 60 personnes au plus fort de l'activité, pour un montant d'environ 4.5 M€.

4. MISE EN SERVICE

A la fin de la construction, le PKW a été mis en eau avec un suivi visuel particulier afin de détecter les fuites, ainsi qu'un suivi du dispositif d'auscultation pour analyser le comportement du barrage après une longue période d'exploitation à cote basse et des travaux de modification conséquents. Cette remise en eau s'est déroulée normalement.

Le PKW de Malarce a subi deux épisodes de déversement au mois de mai 2013. Le premier a atteint un débit d'environ 50 m³/s, et le second 200 m³/s soit une lame d'eau de 18 et 50 cm respectivement. Le PKW a fonctionné comme prévu et aucun dommage n'a été constaté.



Figure 6,7 : PKW en cours de mise en eau (gauche) et en cours de déversement à 50 m³/s (droite)

Le PKW a été équipé de cellules de mesure de pression et de mesure de vibrations qui ont montré que le PKW était sollicité de manière dynamique dans la gamme de fréquence qui avait été anticipée.

En complément, le PKW est équipé de mesures de températures et de déformation, qui permettront de préciser le comportement structurel du PKW sur le long terme. Ces mesures seront dépouillées lorsque le PKW aura fonctionné pendant une année complète afin d'avoir le comportement sur les 4 saisons.

5. RÉFÉRENCES

- [1] T.Pinchart, J-M.Boutet & G-M.Cicero (2011). Design of an additionnal Piano Key Weir Spillway, International Workshop on Labyrinth and Piano Key Weirs – Liège 2011
- [2] G-M.Cicero, C.Guene, M.Luck, T.Pinchart, A.Lochu & P-H.Brousse (2010). Experimental optimization of a Piano Key Weir to increase the spillway capacity of the Malarce dam – IAHR 2010
- [3] T.Pinchart, J-L.Farges, J-M.Boutet, A.Lochu & F.Laugier (2013). Spillway capacity upgrade at Malarce dam : construction of an additional piano key weir spillway (PKW) – 9th ICOLD European Club Symposium – Venice 2013