

PRISE EN COMPTE DU RISQUE DE CRUE LORS DE LA RENOVATION DES VANNES DU BARRAGE DE CADEROUSSE

Flooding management during refurbishment of Caderousse dam gates

Samuel RENAUD, Nicolas CROCHETON

TRACTEBEL, Tour Part-Dieu 129 Rue Servient 69326 Lyon CEDEX 3
samuel.renaud@tractebel.engie.com ; nicolas.crocheton@tractebel.engie.com

Anaïs LLAHONA, Pierre-Yves GRAYEL

CNR, Direction de la Maintenance, 2 rue André Bonin, 69004 LYON
a.lahona@cnr.tm.fr ; p.grayel@cnr.tm.fr

MOTS CLEFS

Vanne segment ; volet ; clapet ; crues ; maintenance ; structure ; actionneurs ; peinture ; anti-corrosion ; batardeau

KEY WORDS

Radial gate ; flap ; flood ; maintenance ; structure ; paint, stoplogs

RÉSUMÉ

Le barrage de CADEROUSSE est un barrage au fil de l'eau installé sur le Rhône naturel, à proximité de la ville d'Orange. Ce barrage est muni de 8 vannes segment de largeur 22 m et de hauteur 12,1 m. En parallèle de ce barrage, sur le Rhône canalisé, est installée une usine hydroélectrique munie de 6 groupes bulbes.

A partir de 2021, la CNR a lancé un programme de rénovation majeure de chacune des 8 vannes ; incluant des travaux de chaudronnerie, la remise en peinture complète des structures, la rénovation des pièces fixes et la rénovation des organes de manœuvre électromécaniques et hydrauliques. Selon son état particulier, la rénovation d'une vanne nécessite son retrait du service pour une durée de 8 à 10 mois.

Le scénario standard de rénovation pour ce type de vanne consiste à mettre celle-ci hors d'eau avec l'installation des batardeaux amont et aval sur la durée du chantier. La vanne est alors consignée en position partiellement ouverte, en appui sur des chandelles.

Usuellement, il est considéré que le pertuis comportant une vanne en rénovation est rendu inopérant sur la durée du chantier ; il ne peut donc pas participer à la restitution d'un débit de crue. Cette logique a été appliquée sur les rénovations antérieures à 2022. La configuration hydraulique de ce barrage n'est néanmoins pas prévue pour restituer une crue majeure en ayant en même temps un pertuis consigné fermé et un groupe de l'usine adjacente également consigné.

Ce constat a conduit la CNR et Tractebel à travailler sur des configurations de rénovation vanne à partir de 2022 permettant de remettre en service sous un délai court un pertuis batardé. Plusieurs axes ont été développés tels que l'identification des phases de travaux rendant la vanne inopérante, la définition de structures d'échafaudages permanentes/démontables ou encore l'optimisation des périodes nécessitant l'installation ou non du batardeau aval.

Le présent article aura donc pour objet de présenter le contexte des travaux ainsi que les solutions techniques mises en œuvre pour permettre une remise en service le plus rapidement possible d'une vanne en maintenance.

ABSTRACT

The CADEROUSSE dam is a run-of-river dam on the natural Rhône, near the town of Orange. The dam is equipped with 8 radial gates, 22 m wide and 12.1 m high. Parallel to this dam, on the canalized Rhône, is a hydroelectric plant with 6 bulb groups.

Starting in 2021, CNR has launched a major renovation program for each of the 8 gates, including works on the steel structure, complete repainting of the structures, renovation of embedded parts and renovation of electromechanical and hydraulic operating equipment. Depending on its particular condition, the refurbishment of a gate requires 8 to 10 months out of service.

The standard refurbishment scenario for this type of gate is to install stoplogs upstream and downstream for the duration of the refurbishment. The gate is then secured in a partially open position, supported on dogging-devices.

It is generally considered that the sluice gate undergoing renovation is inoperable for the duration of the project, and therefore cannot contribute to flood flow restitution. This logic has been applied to renovations prior to 2022. However, the hydraulic configuration of this dam is not designed to discharge a major flood while at the same time having a closed dam gate and an adjacent plant unit also unavailable.

This observation led CNR and Tractebel to work on gates renovation configurations from 2022 onwards, which would enable the sluice to be brought back into service within a short timeframe. A number of options have been explored, including the identification of work phases with inoperable gate, the definition of permanent/removable scaffolding structures, and the optimization of periods during which the downstream cofferdam would or would not have to be installed.

The purpose of this paper is therefore to present the context of the work and the technical solutions implemented to enable a gate undergoing maintenance to be re-commissioned as quickly as possible.

1. CONTEXTE

Le barrage de CADEROUSSE est un barrage au fil de l'eau installé sur le Rhône naturel, à proximité de la ville d'Orange. Ce barrage est muni de 8 vannes segment de largeur 22 m et de hauteur 12,1 m. En parallèle de ce barrage, sur le Rhône canalisé, est installée une usine hydroélectrique munie de 6 groupes bulbes.

Ci-dessous, les caractéristiques principales du barrage de Caderousse.

Hauteur sur fondation	18,5 m
Longueur en crête	176 m
Q _{max} évacuateur à PHE	12 500 m ³ /s
Cote de la Retenue Normale	35,50 m NGF
Côte des Plus Hautes Eaux	35,57 m NGF
Cote de la crête du barrage	41,50 m NGF

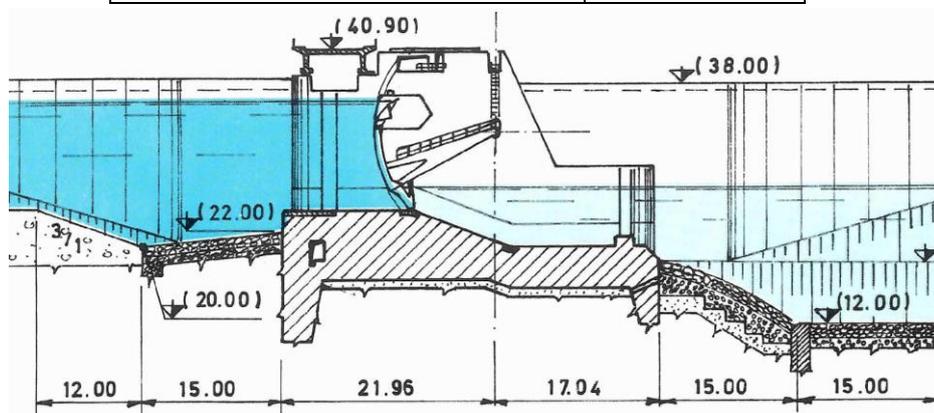


Figure 1 - coupe type du barrage



Figure 2 - Photo du barrage depuis l'aval - Février 2022 (©Luc Boulat, CNR)

A partir de 2021, la CNR a lancé un programme de rénovation majeure de chacune des 8 vannes ; incluant des travaux de chaudronnerie, la remise en peinture complète des structures, la rénovation des pièces fixes et la rénovation des organes de manœuvre électromécaniques et hydrauliques. Selon son état particulier, la rénovation d'une vanne nécessite son retrait du service pour une durée de 8 à 10 mois.

Le scénario standard de rénovation pour ce type de vanne consiste à mettre celle-ci hors d'eau avec l'installation des batardeaux amont et aval sur la durée du chantier. La vanne est alors consignée en position partiellement ouverte, en appuis sur des chandelles.

Usuellement, il est considéré que le pertuis comportant une vanne en rénovation est rendu inopérant sur la durée du chantier ; il ne peut donc pas participer à la restitution d'un débit de crue. Cette logique a été appliquée sur les rénovations antérieures à 2022. La configuration hydraulique de ce barrage n'est néanmoins pas prévue pour restituer une crue majeure en ayant en même temps un pertuis consigné fermé et un groupe de l'usine adjacente également consigné.

2. DESCRIPTION DES VANNES DE BARRAGE

Le barrage est équipé pour moitié de vannes sans volet et de vannes avec volet ; dans la suite du document seules les vannes avec volet seront évoquées.

Les 8 vannes du barrage mesurent 22 m de large et 12,1 m de haut, elles ont été mises en service en 1975.

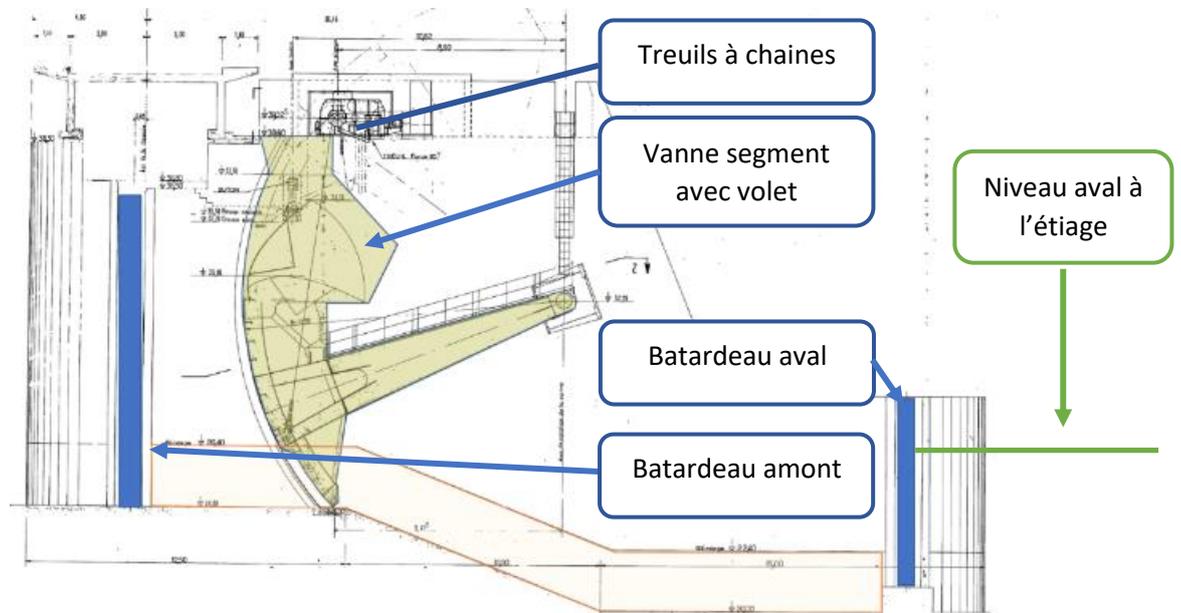


Figure 3 - coupe transversale du pertuis d'une vanne avec volet

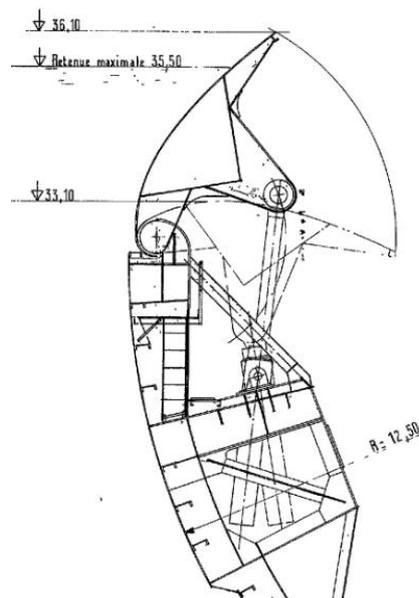


Figure 4 - coupe au droit du vérin de manœuvre du volet

La vanne est actionnée par deux treuils de capacité unitaire 900 kN, et par deux paires de chaînes Galle triple maille de 15,34 m de long.

Le volet est actionné par un vérin oléo-hydraulique d'une capacité de 100 T et de 2,36 m de course.



Figure 5 - Vanne V1 du barrage de Caderousse après rénovation - Avril 2023

Pour assurer leur fonction d'évacuation des crues à l'issue d'une période de travaux, les requis majeurs des vannes sont les suivants :

- Structure résistante aux efforts hydrauliques et bordé étanche,
- Volet manœuvrable en charge, ou bien verrouillé relevé, et résistant aux efforts hydrauliques,
- Treuils, chaînes et palonniers fonctionnels,
- Etanchéités vanne et volet suffisantes pour déposer le batardeau amont en conditions équilibrées.

3. PERIMETRE DES TRAVAUX DE MAINTENANCE

Pour chaque vanne une rénovation globale est prévue :

- Expertise et réparation de la structure,
- Rénovation de la protection anticorrosion,
- Travaux mécaniques de révision des treuils, tourillons, articulations du volet,
- Expertise ou rénovation du vérin et de la centrale oléo-hydraulique,
- Rénovation des étanchéités de la vanne et du volet,
- Rénovation des pièces fixes et portées de joints vanne et volet en résine.

4. ACCES AUX ZONES DE TRAVAIL

La réalisation des travaux prévus demande de travailler à sec et avec un accès sécurisé pour le personnel en charge des travaux.

Accès aux zones normalement immergées

Les parties basses du pertuis sont normalement immergées, la rénovation des pièces fixes de la vanne (seuil et latérales) est donc réalisée après mise en place du batardeau aval.

Le batardeau aval dispose d'une hauteur offrant une revanche de 2 m seulement par rapport au niveau à l'étiage, il ne permet donc pas de travailler en cas de crue (déversement survenant à environ la moitié du débit d'une crue décennale).

Des mesures adéquates sont prises par le Maître d'Ouvrage et les Entreprises de travaux en cas d'intervention derrière le batardeau aval, pour assurer la sécurité du personnel. Des poires de niveaux permettent d'alerter le personnel en cas de montée du niveau aval ou de défaillance des pompes de vidange.



Figure 6 - Mise à sec de la passe avec batardeau aval, et début de montage de l'échafaudage de pied – Caderousse V1 – Février 2023

Accès à la vanne et aux parties en hauteur

Pour l'essentiel des travaux, l'accès est réalisé à l'aide d'un échafaudage permettant de sécuriser l'ensemble des postes de travail. En fonction de la conception retenue c'est entre 50 et 70 tonnes de matériel d'échafaudage qui sont nécessaires, pour une durée de montage ou démontage comprise entre 2 et 4 semaines.



Figure 7 - échafaudage de pied, partiellement démonté en fin de chantier - Caderousse V1 - Mars 2023

5. REMISE EN SERVICE D'URGENCE EN CAS DE CRUE EXCEPTIONNELLE

Etant donné le périmètre des travaux, la durée classique d'une rénovation est de 8 à 10 mois, ce qui implique une indisponibilité de la vanne durant des saisons à l'hydrologie abondante. De plus, les travaux de rénovation s'étendent sur plusieurs années pour terminer la maintenance de toutes les vannes. En parallèle, les travaux de rénovation à l'usine adjacente (vannes et groupes turbines alternateurs) affectent à la baisse la capacité d'évacuation des crues de l'aménagement dans son ensemble.

En cas de prévision d'une crue exceptionnelle (crue millénale : 12 500 m³/s), il est indispensable de pouvoir regagner au plus vite la capacité complète d'évacuation des crues, afin de garantir que les digues situées à l'amont du barrage ne seront pas submergées par un niveau supérieur à la cote des plus hautes eaux (PHE).

Le défi est d'être en capacité d'interrompre les travaux, remonter les équipements majeurs, démonter l'échafaudage pour remettre la vanne en service. Il faut alors fermer la vanne pour pouvoir retirer le batardeau amont en eaux équilibrées pour enfin ouvrir celle-ci à pleine ouverture et retrouver la pleine débitance de la passe.

Axes principaux d'organisation du chantier pour répondre à la contrainte

Les axes principaux suivants permettent de répondre à cette problématique :

- Maximiser la partie du périmètre réalisée en période estivale où la probabilité de crue exceptionnelle est la plus faible,
- Travailler vanne grande ouverte (derrière le batardeau amont et en appuis sur les butons dédiés), avec des échafaudages suspendus qui peuvent être démontés depuis le bas vers le haut,
- Hors période estivale : réaliser la rénovation des équipements majeurs rendant la vanne inopérante (exemple : chaînes & articulations de volet) de façon successive, sous quelques jours, après validation de prévisions de débits favorables pour les dates concernées.

Sujets marquants en lien avec ces contraintes

Les différents sujets suivants ont été riches d'enseignement et méritent d'être partagés.

- Conception d'un échafaudage suspendu

Dans une conception classique, l'échafaudage est posé en fond de passe, sur le radier. Ceci implique : un montage du bas vers le haut ; des appuis positionnés dans une zone normalement immergée. Ceci implique le besoin de réaliser l'intégralité du démontage de l'échafaudage du haut vers le bas, tout en étant protégé par le batardeau aval, donc avant une crue même minime. De plus, pour les vannes du milieu du barrage, la dépose du batardeau aval nécessite une barge, ce qui est impossible avec des débits importants.

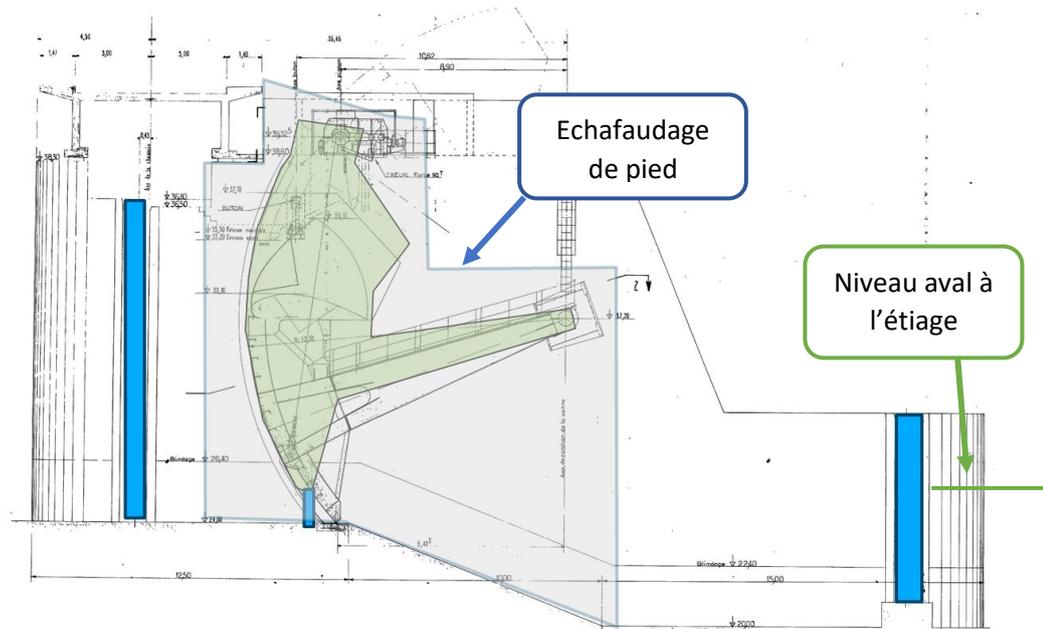


Figure 8 - configuration de maintenance classique avec un échafaudage posé sur le radier



Figure 9 - Echafaudage de pied, complet avec confinement – Caderousse V1 Août 2022

L'utilisation d'un échafaudage suspendu (voir schéma ci-après) permet de s'affranchir de ces contraintes. Le démontage peut être déclenché avec des débits déjà importants, sans lien avec le batardeau aval et sa dépose est poursuivie du bas vers le haut en parallèle de l'augmentation du niveau aval. Il s'agit ici d'un échafaudage complet permettant un accès sécurisé à l'ensemble des postes de travail.

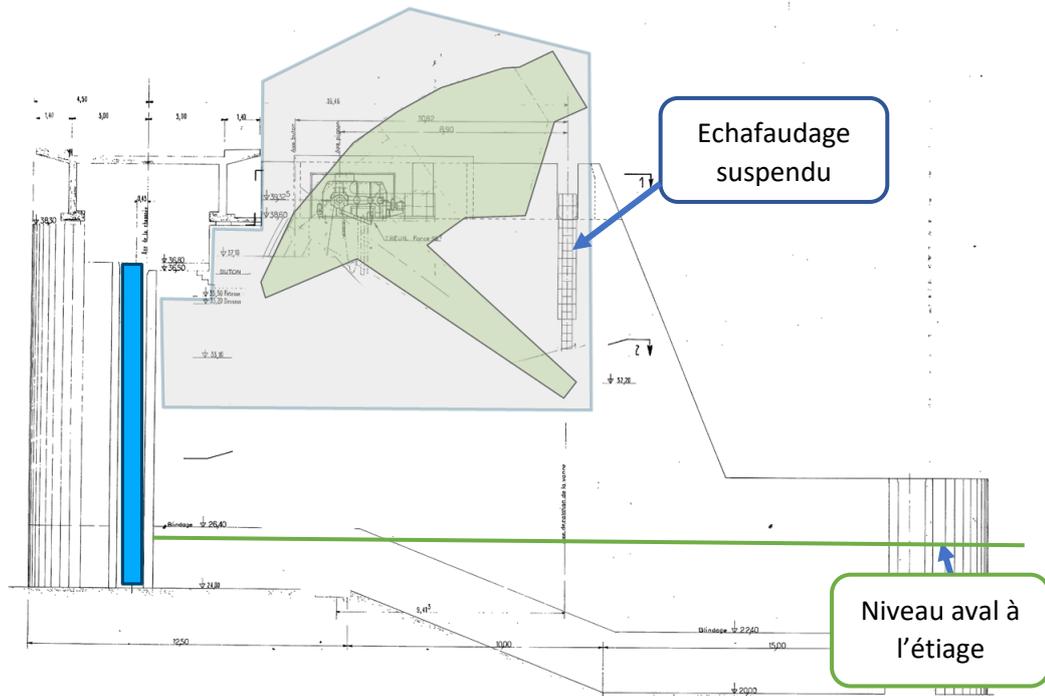


Figure 10 - configuration de maintenance avec un échafaudage suspendu, vanne en position haute sur ses butons



Figure 11 - Exemple d'échafaudage suspendu - Vanne V1 de Villeneuve les Avignon- Novembre 2023

- Conception d'un échafaudage permettant le mouvement de la vanne avec un démontage partiel

Que l'échafaudage soit suspendu ou non, de manière à optimiser la durée du démontage, des études ont été menées pour pouvoir laisser en place l'essentiel des éléments d'échafaudage qui n'empêchent pas le mouvement de descente de la vanne. Cette approche génère des difficultés inhabituelles dans la conception de l'échafaudage puisque cette nouvelle configuration de l'échafaudage doit alors être compatible avec la cinématique complète de la vanne tout en étant stable indépendamment. Cela implique notamment que les descentes de charge de l'échafaudage soient indépendantes de la vanne.

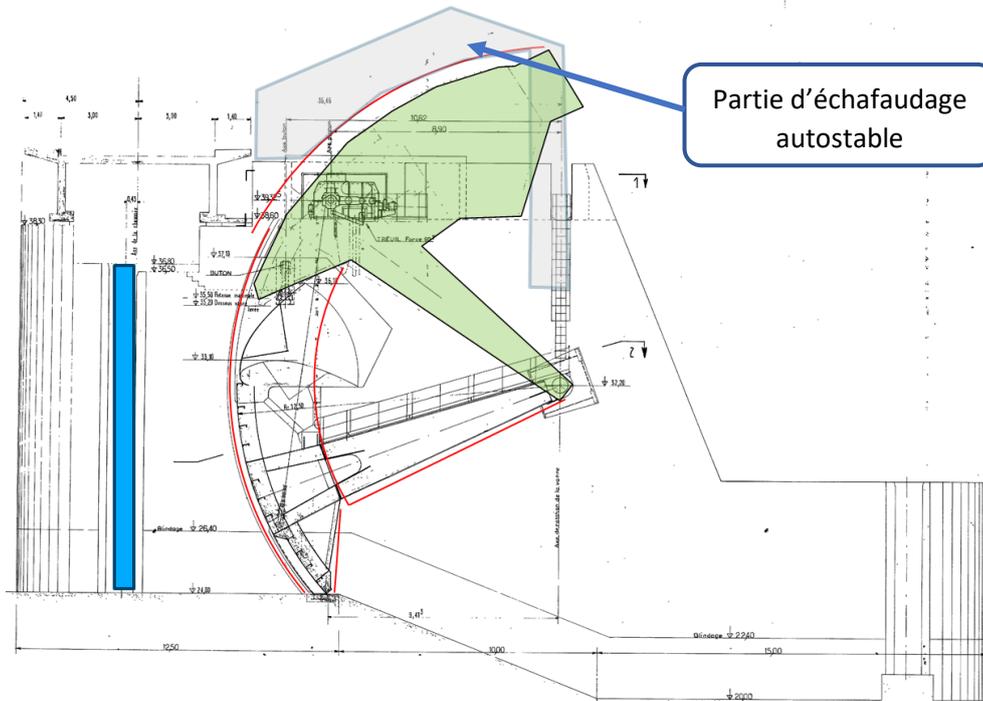


Figure 12 - exemple schématique de configuration d'échafaudage permettant la cinématique de la vanne

- Phasage des travaux avec plusieurs échafaudages embarqués successifs

De manière à réduire le temps de repli du chantier hors période estivale, l'une des pistes explorées est de réduire le volume de matériel d'échafaudage à démonter.

Plutôt que de définir un échafaudage unique permettant l'accès à l'ensemble des postes de travail, il s'agit dans ce cas de déterminer plusieurs phases de travaux, où chacune est réalisée avec un échafaudage spécifique plus petit.

Par exemple, les tâches suivantes peuvent être réalisées indépendamment (préalablement à la rénovation de la protection anticorrosion) :

- Expertise et rénovation de la structure amont et aval (un échafaudage par zone),
- Rénovation des articulations du volet (échafaudage).

En contrepartie cette approche contraint le planning en limitant la réalisation de tâches en parallèle.

- Modes opératoires de démontage d'urgence et exercices

Il a été identifié que pour assurer un démontage dans les meilleurs délais, tout en garantissant la sécurité du personnel, il était essentiel que le démontage d'urgence soit étudié en détail.

Pour chaque échafaudage, il a été demandé aux contractants impliqués d'étudier et d'optimiser un mode opératoire de démontage d'urgence. Notamment, le travail de nuit et en poste demande une organisation spécifique.

Il est intéressant de noter qu'un exercice de démontage d'urgence a été réalisé avec succès en 2023 sur une vanne similaire du barrage CNR de Villeneuve les Avignon et a permis de mettre les engagements du contractant à l'épreuve.

- Fuites entre le bordé et les pièces fixes après démontage des étanchéités

Dans le cadre de la rénovation des étanchéités de la vanne, les joints et les supports de joints sont déposés. Sans mesures particulières, des fuites importantes sont attendues par les espaces libres entre le tablier et les pièces fixes. Un débit de fuite important n'est pas compatible avec la dépose du batardeau amont, fait pour opérer en eaux mortes. Dans le cadre des procédures de remise en service d'urgence il a donc été prévu de remettre en place les supports de joints en les plaquant au plus près des pièces fixes.

Par exemple, pour les étanchéités latérales de vanne, le schéma ci-après montre un jeu théorique de 115 mm sur toute la hauteur de la vanne.

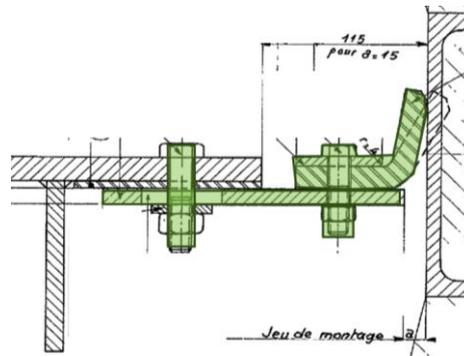


Figure 13 étanchéité latérale de vanne avec pièces déposées en vert

- Rénovation des articulations du volet

L'approche historiquement favorisée pour la rénovation des articulations du volet est de déposer l'intégralité du volet pour dégager l'accès aux articulations et permettre de réaliser les tâches mécaniques dans les meilleures conditions. Cette approche implique un temps de remise en service de la vanne important avec un risque sur la faisabilité du levage (grue, avec ou sans coupure de route).

La solution ici retenue est le remplacement des pièces d'usure (rotules, axes, boulonnerie) en gardant le volet en place, positionné sur un calage prévu lors de la conception. Cette approche apporte une contrainte forte sur l'accessibilité à la boulonnerie et l'extraction des axes mais qui n'a pas été bloquante lors des mises en pratique réalisées jusqu'à aujourd'hui.

L'approche retenue est d'approvisionner les nouvelles pièces en avance, de réaliser le remplacement de façon successive, afin de minimiser la quantité de travail en cas de besoin de remise en service.

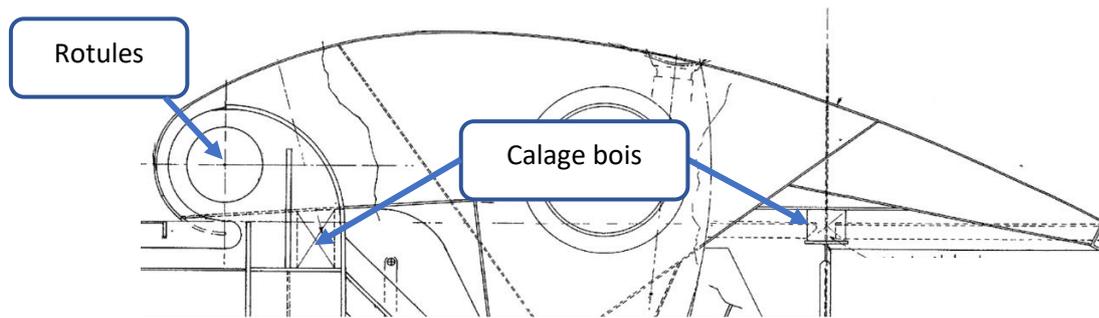


Figure 14 - volet en position basse sur calage

- Utilisation d'équipement en double, pour réaliser les rénovations en temps masqué (chaines, palonniers)

La rénovation des chaines et de leurs palonniers d'accouplement sur la vanne est réalisée en temps masqué grâce à l'approvisionnement d'un jeu supplémentaire de chaque type de pièces. Cette approche permet de démonter les équipements en place puis de remonter immédiatement les équipements rénovés (ou neufs). La rénovation des équipements démontés est ensuite réalisée en temps masqué en vue de la rénovation de la vanne suivante.

- Problématiques liées à la présence d'amiante et plomb dans les peintures

Il a été anticipé qu'il y aurait des difficultés particulières liées à la rénovation de la protection anticorrosion pour les vannes dont la peinture contient de l'amiante.

La phase de décapage de la peinture existante génère des quantités importantes de poussières et sables pollués qui vont se déposer dans l'ensemble de la structure de l'échafaudage. La problématique amiante/plomb apporte des contraintes légales supplémentaires pour la phase de nettoyage préliminaire au démontage ainsi que pour le démontage lui-même.

- Fiabilité des prévisions, gradients de débits et délai de remise en service

Conceptuellement, la remise en service d'urgence doit être déclenchée sur la base d'une prévision, pour permettre de restaurer la pleine capacité d'évacuation des crues avant la submersion des digues situées à l'amont du barrage.

La remise en service de la vanne consiste donc en une course face à la montée des eaux. Le gradient de la crue peut être très élevé avec des valeurs observées historiquement de l'ordre de + 4 000 m³/s par 24 h. On peut donc s'attendre, dans un cas défavorable, à une montée du niveau des eaux d'un niveau d'étiage à un niveau de crue millénaire en moins de 3 jours.

Dans ce contexte, deux paramètres essentiels permettent de répondre à la problématique :

- Obtenir des prévisions de débits à la semaine avec un bon niveau de fiabilité,
- Réduire la durée de démontage de l'échafaudage et de remise en service de la vanne.

6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les enjeux de sûreté hydraulique concernant l'évacuation des crues sur le barrage de Caderousse posent des problématiques hors normes et des défis majeurs aux différents acteurs du projet de maintenance. La planification et la conduite de chaque projet sont directement impactées par ces contraintes. La prise en compte des phénomènes climatiques extrêmes, tels que des crues exceptionnelles, est aujourd'hui d'autant plus impérieuse face à l'évolution du climat qui impacte directement le cycle de l'eau.

Parmi les perspectives d'amélioration évoquées entre les différentes parties prenantes des projets, l'évolution de la conception des échafaudages pour optimiser le temps de démontage est l'une des plus prometteuses.