

## REPARATION INNOVANTE DE RAILS DE VANNE DANS UN PERTUIS EN ÉCOULEMENT

### *Repair of gate rails in a flowing sluice*

**Mathieu COMELLI**

Tractebel, Tour part-Dieu, 129 Rue Servient 69326 Lyon CEDEX 3

[mathieu.comelli@tractebel.engie.com](mailto:mathieu.comelli@tractebel.engie.com)

**Luc BOULAT**

CNR, Lyon France (anciennement Tractebel)

[luc.boulat@cnr.com](mailto:luc.boulat@cnr.com)

### MOTS CLEFS

Vanne, hydraulique, réhabilitation, pièces fixes, conception, structure

### KEY WORDS

Gate, hydraulics, rehabilitation, embedded parts, design, structure

### RÉSUMÉ

*Le parc hydraulique existant est sujet à des réhabilitations plus ou moins importantes, ce qui conduit à développer des solutions particulières de rénovation pour prolonger la durée de vie des équipements. Dans le domaine de la vannerie, les rails de guidage, composants critiques des vannes, peuvent nécessiter des rénovations pour continuer d'assurer leur fonction. Habituellement, lorsqu'il est nécessaire de réparer des pièces fixes de vanne, la première opération consiste à vidanger la zone en installant des bouchures de maintenance tels que des batardeaux, ou bien toute autre structure temporaire dédiée. Les travaux sur les pièces fixes peuvent alors être exécutés hors d'eau.*

*Tractebel a eu l'occasion de travailler sur une opération particulière de rénovation de pièces fixes de vanne wagon, de dimension 6x8m sous une charge maximum de 100m de colonne d'eau, durant laquelle le débit transitant dans les pertuis ne pouvait pas être interrompu. A cette fin, un dispositif permettant à la fois, d'assurer la continuité du débit et de permettre un accès aux rails des vannes, à sec, a été mis en place.*

*La conception a dû s'adapter à l'ouvrage existant, en mettant en œuvre des solutions robustes et prédictibles pour limiter les risques de l'opération et ainsi assurer la sécurité des intervenants. Les exigences particulières, structurelles et hydrauliques, ont été prises en compte pour les phases de descente et d'utilisation en eau. Plusieurs points ont notamment dû être analysés en détails, tels que la stabilité de l'écoulement, les vibrations de la structure, les efforts de manœuvre ou la vidange des rainures. Le contexte du projet n'a pas permis de prévoir d'essais modèle et l'outil a pu être ajusté sur site avant son installation dans un pertuis avec un écoulement de 200 m<sup>3</sup>/s. Cela a permis d'effectuer les réparations nécessaires sur les rails aval tout en assurant la continuité du débit devant être relâché à l'aval.*

## ABSTRACT

*Existing hydroelectric schemes must be regularly rehabilitated at a greater or lesser level, leading to develop specific renovation solutions to extend equipment lifetime. In the hydromechanical field, guiding rails, which are critical gate components, may need rehabilitation to continue to ensure their function. Most of the time, when gate rails need to be repaired, the first step is to dewater the area. It is generally achieved by mean of dedicated existing maintenance equipment such as stoplogs. As soon as they are installed, work can start in good conditions.*

*Tractebel had the opportunities to be involved on a rehabilitation operation of fixed wheel gate's embedded part, of a size 6x8m under a maximum load of 100 meter water column, with the particularities that the water flow cannot be stopped. For this purpose, a special device allowing flow continuity and dry access to the gate rails has been design.*

*The design had to integrate in the existing layout, using robust and predictable solutions to limit operational risks and then ensure workers safety. To meet this goal, the design has taken into consideration structural and hydraulic aspects, for both installation and operation phases, as water jet stability, structure vibrations, operating forces during installation, gate's grooves dewatering. Due to project matter, no model tests have been conducted and the device have been directly adjusted on site, before its installation with a water flow of 200 m<sup>3</sup>/s. The repair works have been successfully conducted while ensuring the flow continuity.*

### 1. INTRODUCTION

Une grande partie du parc hydroélectrique a été installée au cours du XXe siècle et doit régulièrement faire l'objet de réhabilitations plus ou moins importantes. Le parc Européen ne fait pas exception, avec une diversité de technologies importantes, particulièrement quand il s'agit de vantellerie. Ceci a conduit à développer des solutions particulières de rénovation pour prolonger la durée de vie des équipements.

Les équipements de vantellerie, piliers actifs de la sécurité des installations hydrauliques, font l'objet d'une surveillance et d'une maintenance régulière pour garantir leurs fonctions. Si les structures mobiles des équipements de vantellerie sont aisément remplaçables, il en est tout autre pour les parties métalliques encastrées dans le béton, communément appelées pièces fixes. Ces opérations, délicates, peuvent être rendues nécessaires pour un certain nombre de raisons, notamment l'usure, la corrosion, la fissuration, les déformations ou tout autre endommagement ou modification jugé indispensable.

La plupart du temps, quand des pièces fixes doivent être réparées, la première étape consiste à mettre à sec la zone de travail en utilisant les équipements de maintenance existants tel que les batardeaux ou tout autre structure temporaire, conçue spécifiquement, fabriquée et installée pour effectuer les travaux de réparations. Ainsi les travaux peuvent être effectués dans les meilleures conditions, à sec.

Dans les cas où l'écoulement ne peut être stoppé pour de multiples raisons, aucune solution immédiate n'est disponible et un scénario spécifique de réparation doit être envisagé. Parmi toutes les options envisageables, la conception d'un dispositif innovant peut être envisagée pour permettre la réhabilitation. Le but principal du dispositif est d'assurer la continuité du débit et d'offrir un accès aux rails principaux de la vanne, à sec. Pour atteindre cet objectif, les aspects structuraux et hydrauliques doivent être pris en compte dans la conception. La stabilité de l'écoulement, la vibration des structures, les efforts de manœuvre, le dénoyage des rainures figurent parmi les aspects qui doivent être analysés et résolus.

Pour le projet en question, la nature extrêmement urgente de la situation a conduit à réaliser les études de conception dans un temps très limité, sans la possibilité d'effectuer un essai modèle. Ainsi, le comportement hydraulique du dispositif n'a pas pu être testé avant sa mise en œuvre. C'est pour cette raison que les solutions ou dispositions les plus prévisibles et les plus robustes ont été choisies pour sécuriser au maximum l'opération.

## 2. CONSIDERATIONS GENERALES SUR LES REPARATIONS DES PIECES FIXES

Les pièces fixes, désignant les parties métalliques encastrées dans l'ouvrage de Génie Civil, permettent la création des surfaces fonctionnelles de l'équipement considéré. Typiquement, pour les vannes, batardeaux et grilles, ces pièces fixes permettent la transmission des efforts et/ou la réalisation de l'étanchéité.

Chaque projet de réhabilitation nécessite une analyse détaillée de l'état des pièces fixes afin de définir les travaux nécessaires. Cela combine à la fois les difficultés d'accès et les défis techniques pour restaurer la fonction. Comme la plupart du temps les pièces fixes sont intimement liées à l'ouvrage de Génie Civil, une compréhension fine de l'interaction entre les deux structures est nécessaire pour assurer un fonctionnement tel que prévu.

Pour une vanne, les surfaces fonctionnelles des pièces fixes peuvent être décomposées en deux groupes principaux :

- Surfaces fonctionnelles permettant le transfert des efforts à l'ouvrage de Génie Civil (rails principaux, guidage latéral, contre-guidage)
- Surfaces fonctionnelles permettant d'assurer l'étanchéité

Les deux types de surfaces fonctionnelles doivent être en bon état pour assurer un fonctionnement nominal de la vanne et son étanchéité.

En fonction de l'état des pièces fixes, d'un simple meulage au remplacement complet, incluant une partie de l'ouvrage de Génie Civil, une grande diversité de solutions existe pour réhabiliter les pièces fixes. Des solutions intermédiaires existent également telles que rechargement, usinage ou soudage. La mise en œuvre de toutes ces solutions est conditionnée aux conditions d'accès.

Les conditions les plus confortables pour exécuter des travaux de réparation sont évidemment lorsque la zone est dénoyée. Dans certains cas, il est possible d'abaisser le niveau du plan d'eau, à l'occasion, par exemple, d'une inspection périodique de l'ouvrage de Génie Civil. Plus fréquemment, la mise à sec est réalisée à l'aide d'équipements existants tels que batardeaux ou batardeaux temporaires conçus spécifiquement pour l'opération. En étanchant l'amont du conduit, l'accès complet aux pièces fixes est possible, permettant les travaux dans de bonnes conditions.

Dans certaines situations, le dénoyage n'est pas possible et les travaux doivent être exécutés sous l'eau, par des plongeurs. Cette méthode implique des contraintes additionnelles qui doivent être considérées (visibilité, profondeur, type de travaux, etc..). Les aspects planning et coûts doivent être analysés de manière détaillée et doivent être compatibles avec la disponibilité de l'équipement.

Dans les deux cas, les travaux à sec ou sous-marin, l'eau calme est un requis à la fois pour assurer d'un côté l'installation du batardeau et de l'autre pour permettre aux plongeurs de travailler en sécurité. Lorsque le courant ne peut être arrêté, comment peut-on accéder à la zone de réparation ? Les chapitres suivants présentent la réponse à cette question de manière satisfaisante pour la réparation des rails principaux d'une vanne. L'absence d'analogie ou de cas similaire a conduit à la conception d'un dispositif innovant.

### 3. DESCRIPTION DU PROJET ET DE SES SPECIFICITES

#### 3.1. Description des structures existantes

Le but principal de la structure de contrôle du débit de la rivière, objet de cet article, est de relâcher l'eau de manière continue. Cette structure est constituée d'une vanne amont de service, d'un conduit blindé et d'une vanne aval d'urgence. Les dimensions du conduit, blindé de la vanne amont à la vanne avale, sont de 6 mètres de large et 8 mètres de haut. La vanne amont, de type vanne wagon, est manœuvrée par un vérin dont la capacité est proche de 500 t.

La vanne avale, objet de cet article, est une vanne wagon de dimensions 6 x 8m, manœuvrée par un portique. Elle est guidée par deux rails principaux, deux rails de guidage latéraux et deux rails de contre-guidage. Le cadre d'étanchéité, constitué de plat en inox rapportés par soudage, est situé à l'amont. Les rails principaux sont constitués d'une brame épaisse et d'un rail de guidage, boulonné sur ce dernier.

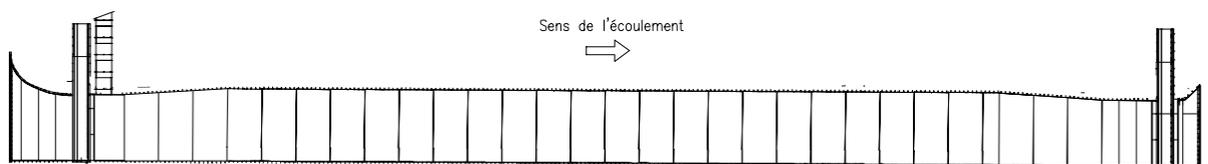


Figure 1 : Vue d'ensemble de la structure

Pour les deux vannes, des dommages ont été constatés sur les rails principaux. Ces dommages sont de nature à remettre en cause la fonction des vannes et leur capacité de fermeture, mettant en danger l'ensemble de la structure de contrôle. Cet article traite uniquement des réparations de la vanne aval d'urgence, située à la sortie du conduit blindé.

#### 3.2. Problématique du projet

Comme le débit de la rivière ne peut être arrêté pour des raisons environnementales, les pièces fixes ne peuvent être réparées qu'en considérant un écoulement dans le pertuis. Une analyse fonctionnelle sommaire, ne faisant pas partie de cet article, a conduit à la conclusion que le transfert des efforts de la vanne à l'ouvrage de Génie Civil est de première importance. La fonction d'étanchéité a été considérée secondaire pour l'installation. Cette analyse est très dépendante de l'aménagement, de la fonction de la structure de contrôle, de ses contraintes d'exploitation et de la fonction de la vanne.

En effet, de manière ultime, les rails principaux, les guidages latéraux et les contre-guidages doivent être considérés comme étant de première importance si une situation dégradée est considérée. Une détérioration de ces rails peut conduire à altérer l'opérabilité de la vanne et donc sa capacité de fermeture. Les rails et les guidages doivent donc être en bon état, dans les tolérances fonctionnelles définies à la conception pour assurer sa fermeture et la transmission des efforts à l'ouvrage de Génie Civil.

D'un autre côté, le cadre d'étanchéité, même si cette affirmation est discutable pour les vannes de haute chute, a été considéré comme fonction secondaire (les fuites peuvent être gérées, en urgence, d'une manière différente et appropriée). De plus, comme les endommagements étaient principalement dus à l'érosion (par cavitation et abrasion), et par excitation des rails due au régime hydraulique complexe dans les rainures, le cadre d'étanchéité a, lui, été naturellement protégé puisque situé à l'amont.

Finalement, les contraintes principales qui ont été considérées pour définir les objectifs du dispositif sont les suivantes :

- Pas d'interruption du débit dans le pertuis
- Permettre un accès sécurisé aux rails pour les intervenants

Pour compléter la description de l'aménagement, le niveau amont varie de 5 mCE à environ 100 mCE suivant les périodes de l'année. Lorsque les vannes sont fermées, elles sont conçues pour résister à la charge amont totale (100 mCE). Dans ce cas, la manœuvre des vannes n'est pas possible.

Elles sont également conçues pour être manœuvrées en eaux vives (ouverture et fermeture) sous une charge maximale de 50 mCE. Dans le but de minimiser les risques, les travaux de réparation sont exécutés dans une période de l'année où le niveau de l'eau est bas, soit environ 20 mCE à l'amont. De plus, les réparations doivent être réalisées très rapidement puisque la période où le niveau d'eau est bas est relativement courte.

## 4. CONSIDERATIONS SUR LA CONCEPTION

### 4.1. Concept général

Etant entendu qu'un accès sécurisé aux rails principaux doit être possible, le principe du concept est d'isoler séparément chaque rainure de l'écoulement grâce à une cloison étanche, de part et d'autre du pertuis. Ainsi, le dénoyage des rainures est possible et les travaux de réparation peuvent être accomplis à sec. L'étanchéité du système est assurée par des joints classiques, à l'amont en utilisant le cadre d'étanchéité existant et à l'aval en s'appuyant sur le blindage.

Ces cloisons étanches doivent être descendues et maintenues en position en assurant un comportement hydraulique sain. A ce titre, deux phases principales ont été étudiées :

- La descente, qui est une phase transitoire
- La position basse, qui est une situation permanente

Pour les deux phases, les forces horizontales doivent être transmises à l'ouvrage de Génie Civil. Etant donné que les vannes ont été conçues pour une charge importante, les pièces fixes ont été dimensionnées pour reprendre des efforts très importants. En conséquence, les brames qui supportent les rails de guidage principaux sont très épaisses et couvrent l'intégralité de la largeur de chaque rainure (cf. Fig. 1). Une distance suffisante entre le rail et le bord de la rainure est disponible pour transférer les efforts dans cette zone.

Pour une telle structure, deux aspects indissociables, le comportement hydraulique et la résistance de la structure, doivent être considérés pendant toute la phase de conception.

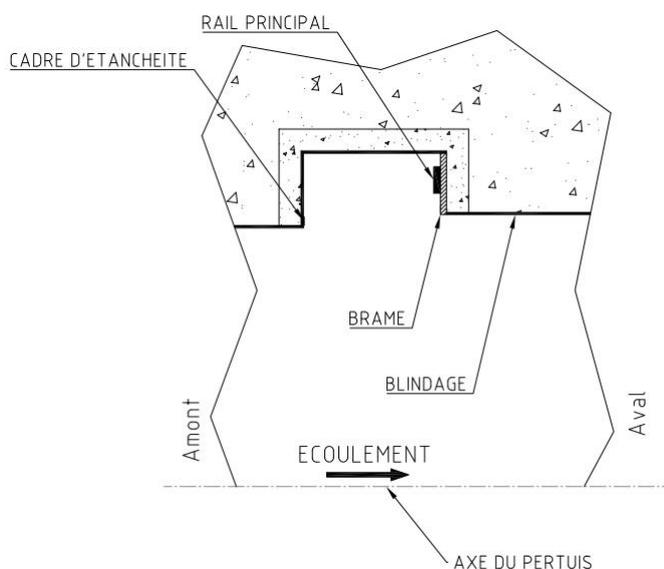


Figure 2 : Coupe de rainure de la vanne aval – demi vue

## 4.2. Aspects hydrauliques

Etant donné que l'état de la structure de contrôle est critique, le temps nécessaire à la réalisation d'un essai modèle n'est pas disponible. Dès lors, la conception hydraulique du dispositif doit être prévisible pour assurer un comportement sûr. Les principales inquiétudes sont liées aux pulsations de pressions et à la stabilité du jet.

Plusieurs solutions de formes hydrauliques ont été évaluées. Certaines d'entre elles étaient prometteuses mais la difficulté d'estimer correctement les efforts, le risque de ne pas maîtriser les fluctuations de pression, ou un retour d'expérience non concluant les ont disqualifiées. D'autres formes hydrauliques ont également été mises de côté de par leur complexité géométrique, incompatibles avec les contraintes de planning, particulièrement pour la fabrication.

Finalement, la meilleure option qui a été choisie consiste simplement en une vanne dont la partie centrale a été évidée. Cet évidement a été maximisé pour limiter la perte de charge. Le bordé a été disposé à l'amont afin de créer un changement de section franc, permettant de contrôler le débit constamment au même point et de définir simplement la pression appliquée au bordé.

L'avantage de cette solution est que, dans la partie inférieure du dispositif, l'écoulement est similaire à celui d'une vanne. Par extension et en utilisant des formes géométriques comparables pour la partie évidée centrale du dispositif, l'écoulement est similaire. Pendant la phase de descente du dispositif, la poutre inférieure est soumise à la fois à un écoulement inférieur mais également à un écoulement supérieur (dans la zone évidée). Cette configuration permet de prédire de manière assez sûre le comportement hydraulique du dispositif.

Pour réduire le risque de pulsation du jet, des conduits d'aération ont été disposés dans la structure du dispositif (cf. Fig. 2 et 3). Ces conduits distribuent de l'air autour du jet à l'aval immédiat du point de contrôle. Le but est de limiter, au mieux, les zones de basse pression autour du jet.

Le dimensionnement des conduits d'aération a été réalisé en utilisant les méthodes usuelles pour ce type de calcul tel que Réf.[1] et Réf.[2]. Une deuxième vérification a également été conduite en utilisant les méthodes traditionnellement utilisées pour les aérateurs des évacuateurs de crue ; Réf.[3], particulièrement pour la poutre inférieure. Des investigations complémentaires ont aussi été réalisées pour déterminer la trajectoire du jet et son point d'impact, ceci afin de vérifier, de manière théorique, que le jet ne vienne pas perturber le fonctionnement des aérations de la poutre inférieure.

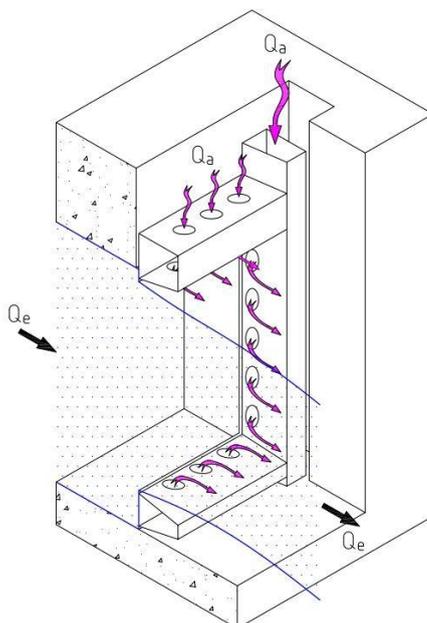


Figure 3 : Dispositif en position basse - coupe schématique dans l'axe du pertuis (avec  $Q_e$  le débit d'eau et  $Q_a$  le débit d'air)

L'ensemble de ces dispositions permet le dénoyage naturel des rainures par différence de pression. Cette hypothèse est valable si aucun niveau aval n'est considéré, induisant des recirculations et des retours d'eau importants.

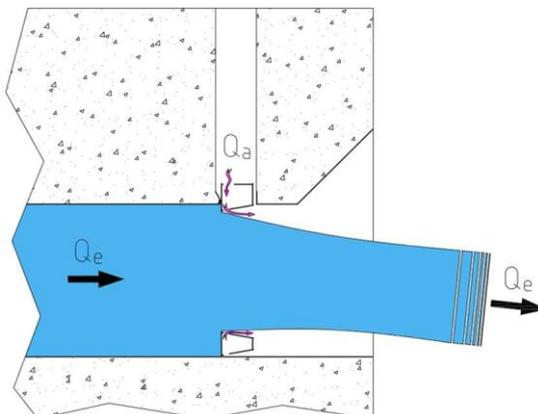


Figure 4: Dispositif en position basse - coupe verticale - représentation sans niveau aval (avec  $Q_e$  le débit d'eau et  $Q_a$  le débit d'air)

D'un point de vue hydraulique, les principaux risques résiduels identifiés sont liés aux effets, difficilement prévisibles, de la présence d'eau à l'aval. Les retours d'eau et/ou les recirculations peuvent induire des pulsations de pression non souhaitables et avoir des conséquences sur la structure du dispositif, typiquement des vibrations.

Une hypothèse forte a aussi été prise en compte sur le comportement du jet qui est supposé avoir un décollement franc au niveau du bordé amont. Si le décollement n'est pas franc, des recollements dans certaines zones peuvent avoir lieu avec pour conséquence une instabilité du jet induisant potentiellement des vibrations de la structure.

La position théorique du ressaut hydraulique à l'aval a été déterminée, sans la présence du dispositif. Il a été supposé que le comportement global de l'écoulement ne serait, sur ce point, que faiblement modifié.

#### 4.3. Aspects structuraux

En supposant que le jet à un décollement franc et brutal à l'amont, le bordé est soumis à une pression statique qui peut s'exprimer ainsi :

$$P_{statique} = P - \frac{V^2}{2g} - \Delta P$$

Avec :

$P_{statique}$	Pression statique appliquée au bordé
$P$	Charge totale
$V$	Vitesse de l'eau dans le conduit blindé amont
$\Delta P$	Pertes de charge dans le conduit blindé amont

Les efforts horizontaux dus à la pression appliquée au bordé sont transmis à la brame au moyen de galets, répartis sur toute la hauteur du dispositif. Le diamètre des roues a été déterminé pour être le plus petit possible et ainsi maximiser l'espace pour les intervenants. Au final, le puits disponible pour les travaux est de 800x1500 mm.

D'autre part, les pièces fixes, particulièrement les brames, ont été vérifiées pour s'assurer de leur tenue sous la charge appliquée par le dispositif.

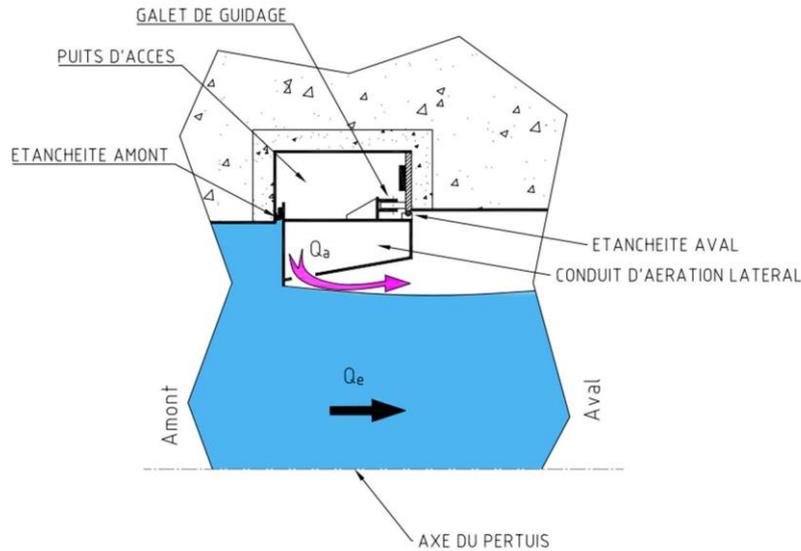


Figure 5: Dispositif en position - coupe horizontale - demi vue (avec  $Q_e$  le débit d'eau et  $Q_a$  le débit d'air)

D'autre part, les efforts de manœuvre du dispositif ont été estimés pour, entre autres :

- Vérifier la fermeture gravitaire
- Vérifier la présence d'une prépondérance suffisante pour assurer la stabilité du dispositif en fin de fermeture
- Valider la capacité du portique existant

Une vérification complémentaire a été effectuée vis-à-vis du comportement dynamique de la structure – Réf.[4]. Quand bien même toutes les précautions vis-à-vis du comportement hydraulique ont été prises, le dispositif reste un équipement complexe. Ainsi, des risques résiduels identifiés, liés au comportement hydraulique, pourraient compromettre son bon fonctionnement. En supposant que les fréquences excitatrices les plus énergétiques de l'écoulement sont celles qui sont inférieures à 10 Hz, la première fréquence propre de la structure en eau a été limitée à 50 Hz.

## 5. MISE EN SERVICE

La mise en service du dispositif a été réalisée en plusieurs étapes afin de valider les différents aspects de la conception :

- Interférences mécaniques
- Comportement hydraulique
- Efficacité de l'étanchéité

Comme l'écoulement de l'eau ne peut pas être arrêté, des essais à sec ont été réalisés dans la partie émergée des pièces fixes. Cet essai s'est déroulé lorsque le niveau d'eau était le plus faible, le dispositif étant descendu au plus proche de la surface de l'eau. Des éléments ajustables ont permis de corriger la position du dispositif et ainsi corriger les interférences mécaniques.

Le dispositif a ensuite été descendu en eau vive, sans les joints. Le but de cet essai était de valider le comportement hydraulique du dispositif pour la phase transitoire de descente et en position finale. Aucune modification du dispositif n'a été nécessaire pour améliorer le comportement hydraulique ni le système d'aération.

D'un point de vue hydraulique, avec environ la moitié du débit pris en compte dans la conception (200 m<sup>3</sup>/s pour un débit maximum de 400 m<sup>3</sup>/s), le dispositif a un comportement stable, sans vibrations. Les conduits d'aération apportent suffisamment d'air aux poutres supérieures et aux puits latéraux. Il est à noter que, comme le niveau d'eau était relativement faible, la poutre inférieure était probablement noyée et qu'aucune aération de la face inférieure du jet n'était réalisée. Il a également été observé que, tel qu'attendu, les retours d'eau et les recirculations dus à la présence d'un niveau d'eau aval ont limité le dénoyage naturel des puits d'accès aux zones de travail.

Suite au montage des joints, les rainures ont pu être dénoyées complètement par pompage, assurant un accès à sec et sécurisé aux zones de réparations.

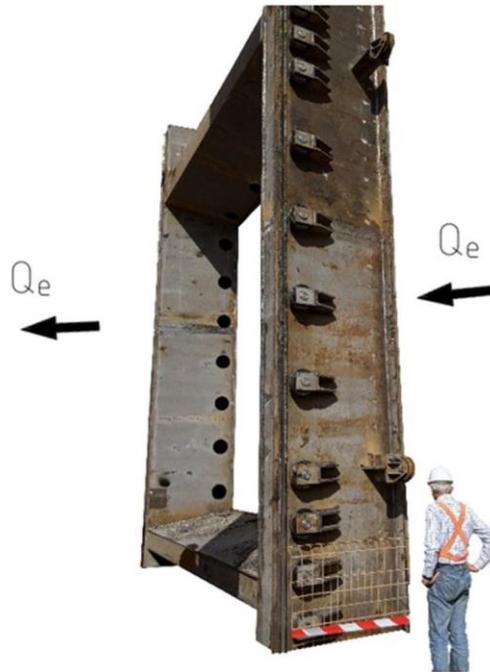


Figure 6: Dispositif prêt pour les essais à sec (avec  $Q_e$  le débit d'eau)

## 6. CONCLUSION

Le dispositif, conçu spécifiquement pour ce projet, est un cas unique. La conception innovante du système a permis l'inspection et la réparation des pièces fixes. A la suite de l'opération, la vanne a également été testée pour valider son fonctionnement. Compte tenu de la situation critique de l'aménagement, les risques ont été maîtrisés du mieux qu'ils pouvaient l'être. La prise en compte de marge confortable sur certains aspects critiques ou difficilement prévisibles a permis de gérer les risques résiduels.

Bien que ce cas soit très particulier, le concept présenté peut être appliqué à d'autres projets, probablement avec des adaptations, mais surtout avec une grande prudence pour garantir un accès sécurisé aux intervenants.

## RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] Levin L. 1968. "Formulaires des conduites forcées oléoducs et conduits d'aération" DUNOD
- [2] Sharma H. R. 1976. "Air-entrainment in high head gated conduits." J. Hydraul. Div. 102 (11): 1629–1646
- [3] Falvey H. T. 1990. "Cavitation in chutes and spillways" USBR Engineering Monograph N°42
- [4] Josserand A., Milan D., Berthollon G. 1980. "Vibrations des vannes des aménagements hydroélectriques. Connaissances actuelles. Exemples industriels"