

BARRAGE DE RODERE : REMPLACEMENT DES VANNES EVACUATEURS DE CRUES

Rodere dam: replacement of spillway gates

Ludovic JOUSSOT

HYDROSTADIUM, 22 Avenue des Vieux Moulins 74000 Annecy

ludovic.joussot@hydrostadium.fr

MOTS CLEFS

Evacuateur de crues, vanne wagon, submersible, dialogue compétitif

KEY WORDS

Low-head gate, submersible gate, competitive dialogue

RÉSUMÉ

Le barrage de Rodère est un Barrage Mobile en Rivière (BMR) équipé de trois EVacuateurs de Crues (EVC) de conception atypique. Ces équipements ont la capacité de s'abaisser pour permettre une régulation par surverse mais également de se lever jusqu'à l'effacement total du barrage. L'étanchéité de seuil est réalisée par un volet plaqué contre une marche en béton du génie-civil.

Basée sur les différentes expertises des ingénieries EDF, l'évolution des désordres constatés et surveillés sur les équipements de cet ouvrage ont amené la Maîtrise d'Ouvrage à décider du remplacement avec re-conception de ces trois vannes ainsi que de son automatisme. Par ailleurs, l'environnement immédiat du barrage qui présente des difficultés d'accès et de levage importantes et la nécessité de laisser le barrage en exploitation contraignent la réalisation du projet.

Ainsi, afin de répondre au plus juste aux contraintes, aux objectifs et aux enjeux de l'opération, la démarche de Conception-Réalisation a été retenue pour ne pas imposer un périmètre et une mise en œuvre inadaptés aux moyens des entreprises et aux besoins fonctionnels de leur solution technique.

ABSTRACT

Rodère dam is a gate-structure dam with three submersible low-head gates. These gates are quite atypical and unusual. They can be submerged for upstream level regulation and totally lift to get out of the river in case of flooding. Their ground watertightness is realized with a flap pressing against the concrete civil-work step.

Based on different EDF's engineering expertise, the evolution of monitored disorders brings the Owner to decide to change these gates and its automatism with a modification of their conception for a more common and reliable lift gate type. Moreover, the project is constrained by dam access limitations and lifting difficulties, combined with the requirement to keep the dam in operation.

In this context and to bring the best suitable solution in regard of constraints, objectives and challenges of this operation, the design-build process has been chosen to prevent from imposed perimeter and operating mode not adapted to tenderers' capabilities and proposed technical solutions.

1. INTRODUCTION

Le barrage de RODERE est un Barrage Mobile en Rivière de classe C, selon le code de l'environnement, situé sur la Garonne et équipé de trois EVacuateurs de Crues (EVC) de 20 m x 4 m permettant une débitance de 400 m³/s chacun à la cote de Retenue Nominale (RN). Il sert à la dérivation des eaux pour l'alimentation des aménagements hydroélectriques exploités par EDF Petite Hydro de Camon et Valentine (31). Il a été mis en service en 1933.

Les différentes expertises et diagnostics réalisés ont mis en évidence une dégradation assez forte des trois vannes d'origine : corrosion généralisée et fuites importantes en seuil entraînant des pertes de production. De plus, il a été constaté des dégradations sur les radiers amont de chacune des passes, dont les zones de pose du batardeau d'exploitation.

Face à ces constats EDF Petite Hydro, maîtrise d'ouvrage de cet aménagement, a missionné HYDROSTADIUM pour mener les études de rénovation des vannes et pour les mettre en œuvre.

2. PRESENTATION DE L'AMENAGEMENT

2.1. Présentation générale – Grandeurs caractéristiques

Le barrage de RODERE se situe sur le lit de la Garonne à hauteur de la commune de CLARAC (31).

La retenue à l'amont du barrage présente les caractéristiques suivantes :

■ Superficie à RN	: 10 ha
■ Capacité totale	: 216 000 m ³
■ Capacité utile	: 206 000 m ³
■ Hauteur de la tranche utile	: 2,65 m

Il est composé de trois vannes wagons identiques abaissantes et levantes. Chaque passe possède des rainures de batardage en amont et en aval des vannes. Un transbordeur, installé sur le portique supérieur, permet de manutentionner l'unique jeu de batardeau amont de l'aménagement sur les trois passes.

En rive gauche, une prise d'eau alimente la microcentrale de turbinage du débit réservé de RODERE.

Le niveau de la retenue normale est à 394,65 mNGF : à l'origine de 394,00 mNGF, il a été augmenté en 1941 lors du rehaussement des seuils des passes. Celui de la PHE est à 395,50 mNGF.



Figure 1 : Barrage de Rodère avant travaux

2.2.Présentation des vannes

Leurs caractéristiques principales sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Construction	Type	Wagon
	Structure	Tablier amont rigidifié par l'aval
	Assemblage des éléments	Boulonnage et rivetage
	Guidage principal	Galets (4 x 2)
	Guidage secondaire	2 sabots (2 RG et 2 RD)
	Contre guidage	Galets (2 x 2)
	Etanchéités latérales	Plat caoutchouc sur lame souple / pièce fixe
	Etanchéité frontale (de seuil)	Rond bronze / pièce fixe
Caractéristiques actuelles	Niveau de retenue normale (RN)	394,65 m NGF
	Niveau des plus hautes eaux (PHE)	395,50 m NGF
	Altitude seuil amont	390,50 m NGF
	Altitude radier aval	388,70 m NGF
	Hauteur vanne (seuil vanne/ déversoir)	4,15 m
	Largeur totale entre galets	20,8 m
	Course maxi en abaissement (surverse)	1,3 m
	Course maxi en relèvement (sousverse)	6 m
	Masse totale (avec galets)	42 t
	Débit maxi théorique d'une vanne en surverse à RN	50,6 m ³ /s
	Débit maxi théorique d'une vanne en sousverse à RN	400 m ³ /s
	Poussée horizontale à RN	~ 179 t
Chaîne cinématique (depuis la vanne) et sources d'énergie	Organes de manœuvre	Chaîne Galle (x2)
		Treuil Mouflés en 2/1
		Arbre de transmission
		Vannes 1 et 2 : Réducteur
		Vanne 3 : Réducteur + inverseur
	Source d'énergie	Frein
		1 moteur électrique principal et 1 moteur de secours
		Alimentation : Réseau + GE
		Manivelle

Chaque vanne est composée de deux éléments superposés en acier : un élément principal et un volet inférieur, situé au seuil de l'élément principal et assurant l'étanchéité inférieure de la vanne. Les vannes sont recouvertes d'une peinture, repérée comme amiantée.

L'élément principal est composé d'une tôle de bordé amont, raidie horizontalement à l'aval par une structure charpentée en treillis rivetée. Un déversoir est fixé en partie supérieure du treillis.

Le dispositif d'étanchéité latérale est constitué d'un patin boulonné sur une lame acier montée sur des lames ressort et fixée à une cornière boulonnée au bordé. Le contact métal/métal et les interstices laissés par les éléments sont étanchés par des joints plats en caoutchouc.

L'étanchéité inférieure est constituée par un volet mobile maintenu en appui par onze ressorts en volute, fixés en aval du tablier sur les contreventements de la structure principale. Ce dispositif applique une précontrainte permanente du volet mobile sur le seuil fixe en vis-à-vis.

Le guidage latéral et le contre-guidage sont assurés par un système composé de galets, de rail et de sabots.

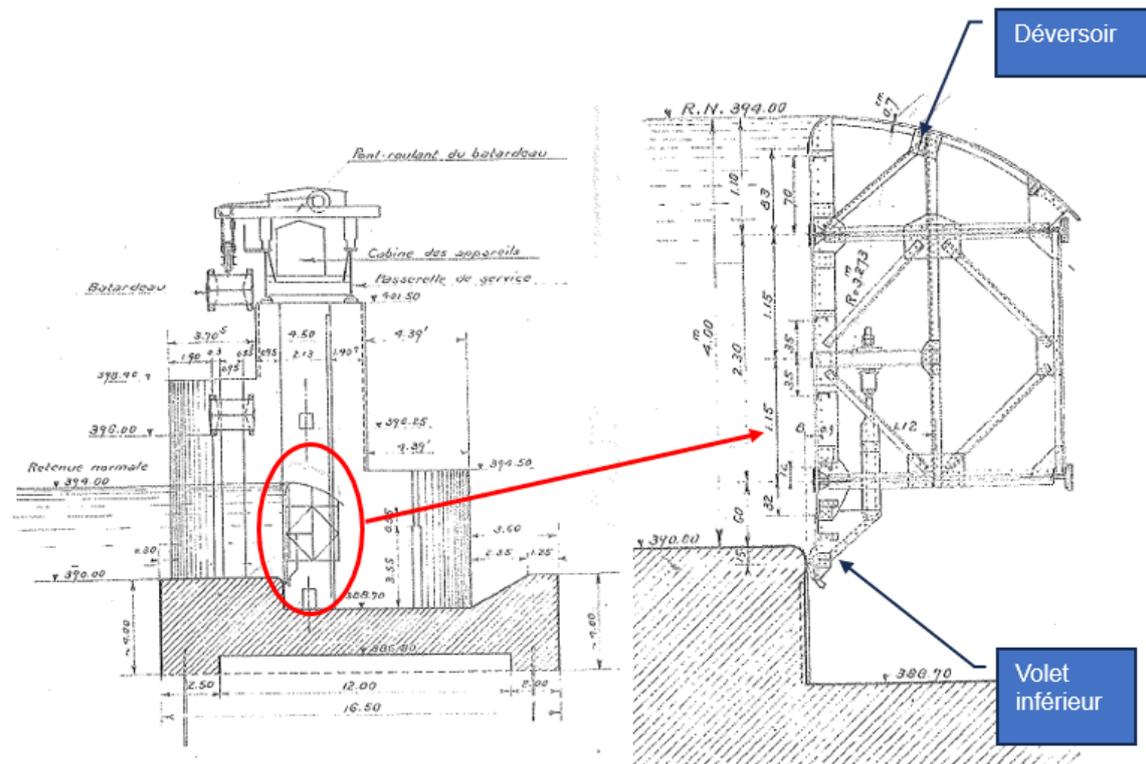


Figure 2 : Schéma en coupe du barrage

La manœuvre des vannes est assurée par deux chaînes galle actionnées par un treuil mouflé en 2/1. Les treuils sont commandés par un groupe motoréducteur principal équipé d'un second de secours débrayable. Les organes des manœuvres des vannes sont situés sur la superstructure en portique présente au-dessus des vannes.

Chacune des vannes peut fonctionner en vanne déversante en s'abaissant ou en sousverse en se relevant. Le fonctionnement normal de l'aménagement prévoit qu'une seule vanne à la fois soit exploitée en surverse. Le choix de cette vanne est fixé par l'exploitant en fonction des conditions hydrauliques et des besoins d'exploitation ; la bascule en mode sousverse se fait manuellement, lorsque les conditions hydrauliques le nécessitent.

Plus proche de la prise d'eau en rive droite, la vanne 1 est couramment utilisée en vanne déversante pour évacuer plus facilement les embâcles présents à l'amont. Les vannes 2 et 3 sont donc principalement utilisées en fonctionnement de fond (sousverse) et sont donc moins sollicitées.

Lors des passages de crues, les trois vannes sont levées, permettant ainsi d'assurer le passage d'un débit de crue de 935 m³/s. En surverse, la débitance maximale d'une vanne à RN est de 50,6 m³/s.

2.3. Les contraintes du site

2.3.1. Les contraintes hydrologiques et d'exploitation

Les contraintes d'exploitation du barrage sont caractérisées par les données de niveau suivantes :

- $Q_{\text{entrant}} \leq 150 \text{ m}^3/\text{s}$: Exploitation normale
- $150 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{\text{entrant}} \leq 200 \text{ m}^3/\text{s}$: Etat de veille
- $Q_{\text{entrant}} > 200 \text{ m}^3/\text{s}$: Etat de crue, impliquant :
 - La fermeture des 6 vannes de garde du canal de Camon
 - L'effacement complet du barrage de Rodère.

Le barrage étant maintenu en exploitation durant le chantier, les enjeux de sûreté sont donc multiples : réaliser les travaux sans effacer le plan d'eau, assurer le fonctionnement du barrage avec chacune des configurations rencontrées lors du projet, garantir le passage des crues en phase chantier avec une passe batardée, garantir la stabilité de l'ouvrage pendant et après les travaux.

2.3.2. Accès

L'accès au barrage, en rive droite et rive gauche, se fait par des routes ponctuellement étroites (passage sur une seule voie), et impose la traversée de ponts dont les capacités sont limitées (16 t ou 36 t). Cela contraint fortement les possibilités des moyens de levage pour manutentionner les vannes de 42 t, et particulièrement pour la passe centrale (flèche de 45 m environ depuis les rives).

2.3.3. Zone de manutention

Outre les problématiques d'accès, les principales contraintes de levage et de manutention sont les suivantes :

- Zone de grutage en RD sur la route ;
- Zone de manutention exigüe ;
- Présence de la conduite forcée enterrée du turbinage du débit réservé en RG ;
- Proximité d'une ligne Enedis 20 kV.

3. LES RESULTATS DES ETUDES

Les études préalables se sont déroulées en 2 phases : une Etude Préliminaire (EP) puis un Avant-Projet Sommaire (APS).

3.1.L'étude préliminaire

L'EP a permis d'explorer et de recenser toutes les stratégies de maintenance possibles pour ces vannes afin de répondre aux divers modes de fonctionnement de l'aménagement (pour mémoire, actuellement, régulation de débit par le fonctionnement en surverse et évacuation des crues en sous-verse) :

- Rénovation à l'identique des EVC existants ;
- Rénovation de l'existant avec suppression de la fonction de surverse et modification de l'étanchéité de seuil ;
- Remplacement de la vanne par une vanne levante (de type wagon surmontée d'un clapet ou autre) ;
- Remplacement de la vanne par une vanne de surface (de type clapet de surface).

De plus, les différentes possibilités de combinaisons de technologies de vannes ont été étudiées, avec par exemple : un clapet associé à deux vannes plates levantes.

Certaines possibilités ont été écartées au regard de leur manque d'intérêt technico-économique.

Ces différents scénarios ont été présentés à la maîtrise d'ouvrage EDF qui a décidé de n'en retenir que deux à analyser plus précisément :

- **Scénario A** : Remplacement d'une vanne et rénovation des deux autres vannes,
- **Scénario B** : Remplacement des trois vannes.

3.2.L'avant-projet sommaire

La comparaison des différentes options pour la conception des nouvelles vannes conduit à proposer le choix de vannes levantes de type wagon surmontées d'un clapet de surface. Ce choix est privilégié pour répondre aux différents modes d'exploitation, éviter les risques de coincement (plus présent avec des vannes wagon double-corps, par exemple) et pour assurer une mise en œuvre moins onéreuse (la mise en place de clapets par exemple aurait nécessité des travaux plus importants, notamment génie-civil).

La technologie de vanne retenue impose de réaliser une nouvelle pièce fixe de seuil adaptée pour créer l'étanchéité en partie basse.

Pour la manœuvre des vannes levantes, la configuration de l'aménagement oriente vers une conception similaire pour les futures vannes (manœuvre par treuils) avec la possibilité de conserver les organes existants ou de les remplacer par des neufs (en fonction de la masse et des efforts de la nouvelle vanne).

Pour le clapet, plusieurs technologies sont possibles : vérins oléo-hydrauliques, câbles, crémaillères, ... A ce stade de l'étude, aucune technologie n'a été écartée car elle dépend du choix de conception du fabricant.

Le scénario A, visant à la rénovation de deux vannes existantes, implique des travaux importants tels que le renforcement de la structure en treillis et sa remise en peinture complète, la rénovation des boggies, le remplacement des étanchéités latérales... De plus, pour corriger les problématiques de fuites importantes en seuil, la conception de l'étanchéité de seuil doit être repensée avec le remplacement du volet inférieur par un joint de seuil en compression sur une pièce fixe. Il est à noter que la contrainte principale de la solution de rénovation est la nécessité de procéder à un désamiantage complet de la vanne avant le début des travaux.

L'avant-projet sommaire présente les mises en œuvre possibles pour la réalisation des travaux en fonction des scénarios et en tenant compte des contraintes du site. Cette analyse met en évidence l'intérêt du remplacement à neuf des trois vannes par rapport à leur rénovation.

Une analyse d'impact des travaux sur les conditions d'exploitation et le passage des crues a également été réalisée.

En complément, les études démontrent de la nécessité de remplacer l'automate de contrôle-commande du barrage car la modification de conception des vannes impose des modifications substantielles (technologie vieillissante). Cette nécessité accroît de fait les risques liés à la sûreté au regard des contraintes de maintien en exploitation de l'aménagement dans toutes les phases du chantier.

Afin de mieux maîtriser cet enjeu, il a été décidé, en accord avec la Maîtrise d'Ouvrage, d'intégrer au sein d'Hydrostadium la réalisation du code automate et de sa plateforme de tests ControlBuild pour chacune des configurations d'exploitation rencontrées selon l'avancement des remplacements successifs des vannes.

3.3. Conclusions

HYDROSTADIUM a préconisé à EDF de retenir le scénario B de remplacement des trois vannes et de l'automate barrage car il présentait la meilleure solution technico-économique dans un contexte d'enjeu de sûreté fort.

Pour ce projet, il a été proposé à la Maitrise d'Ouvrage, plutôt que d'utiliser un processus d'ingénierie classique, d'envisager une approche de conception / réalisation par les entreprises. Ce choix a été motivé par le contexte complexe dont les principales difficultés étaient liées aux choix de conception des vannes en lien avec les modes opératoires de chantier propres à chaque entreprise. De plus, la conception des vannes ayant un impact fort vis-à-vis du choix sur la rénovation ou le remplacement des organes de manœuvre et des pièces fixes, cette conception définit le périmètre technique de l'opération et impacte ainsi lourdement les coûts et délais du projet.

Une étude détaillée basée sur un mode opératoire figé aurait pu limiter les propositions et savoir-faire des entreprises consultées.

4. LE DEROULEMENT DE LA CONSULTATION

4.1. Préparation de la consultation

En amont de la consultation et afin d'établir les spécifications du marché, de multiples expertises et relevés ont été menés afin de fournir aux soumissionnaires un état de connaissance de l'aménagement le plus exhaustif et le plus juste possible et ainsi affermir l'ensemble des données d'entrée.

L'expression des exigences fonctionnelles, des contraintes d'exploitation et de sûreté ainsi que le référentiel technique à appliquer ont été transcrits dans les cahiers des charges fonctionnels.

4.2. Choix de la procédure de consultation des entreprises

Le processus de consultation de ce marché en conception / réalisation s'est porté sur le modèle du Dialogue Compétitif, selon les modalités prévues dans le code des marchés publics, permettant ainsi des échanges itératifs destinés à faire émerger des solutions techniques défendues et argumentées par les soumissionnaires.

En préambule à cette consultation, un avis de marché a été émis au journal européen.

Les dates principales de la procédure complète du dialogue compétitif ont été les suivantes :

- Juin / Juillet 2021 : Avis de consultation au JOUE et analyse des candidats
- 19 avril 2022 : Lancement de la consultation (5 soumissionnaires)
- 27 juin 2022 : Remise des offres initiales (1^{ère} phase)
- 12 juillet 2022 : Emission du résultat des analyses des offres et de la liste des soumissionnaires retenus. Lancement des études détaillées (2^{ème} phase – 4 soumissionnaires)
- 7 novembre 2022 : Remise des études détaillées
- 8-9 décembre 2022 : Présentation et jury du dialogue compétitif de la 2^{ème} phase
- 15 décembre 2022 : Emission des résultats de la phase 2. Lancement des consolidations techniques (3^{ème} phase – 3 soumissionnaires)
- 16 janvier 2023 : Remise des offres technico-financières consolidées
- 6-8 février 2023 : Présentation et jury du dialogue compétitif de la 3^{ème} phase

- 13 février 2023 : Emission des résultats de la 3^{ème} phase. Lancement des consolidations contractuelles (4^{ème} phase – 2 soumissionnaires)
- 1 mars 2023 : Remise des offres technico-financières définitives
- 9-10 mars 2023 : Présentation et jury du dialogue compétitif de la 4^{ème} phase
- 21 mars 2023 : Emission des résultats de la 4^{ème} phase
- 3 avril 2023 : Notification du titulaire.

La procédure de dialogue compétitif a permis d'obtenir des offres très variées en termes de solution et de périmètre technique, de moyens de levage envisagés et de coût de réalisation. Plusieurs points singuliers peuvent ainsi être ressortis de cette procédure :

- 5 groupements d'entreprises consultés, 4 offres techniques détaillées remises et 3 recevables techniquement,
- 4 solutions de levage totalement différents envisagés (estacade, blondin, pont roulant et ponton-grue),
- 3 solutions techniques différentes (3 vannes wagon surmontées d'un clapet, 2 vannes wagon simple et une avec clapet, ...),
- 3 structures de vannes différentes (treillis poutrelle, treillis tubulaire, caissonnée),
- Des périmètre variés (remplacement pièces fixes et motorisation, remplacement motorisation et rénovation pièces fixes, rénovation motorisations et pièces fixes, ...),
- Des écarts entre les offres financières très importants.

5. LA SOLUTION TECHNIQUE RETENUE

Le marché a été attribué au groupement ROUBY / AEVIA. La solution technique retenue se compose ainsi :

- Fourniture de 2 vannes wagon simples et d'une vanne wagon surmontée d'un clapet déversant,
- Remplacement des pièces fixes,
- Remplacement des motorisations des vannes wagon et ajout d'une manœuvre de clapet,
- Remplacement de l'automate barrage et des armoires de 1^{er} rang,
- Rénovation et adaptation du génie-civil aux nouveaux équipements.

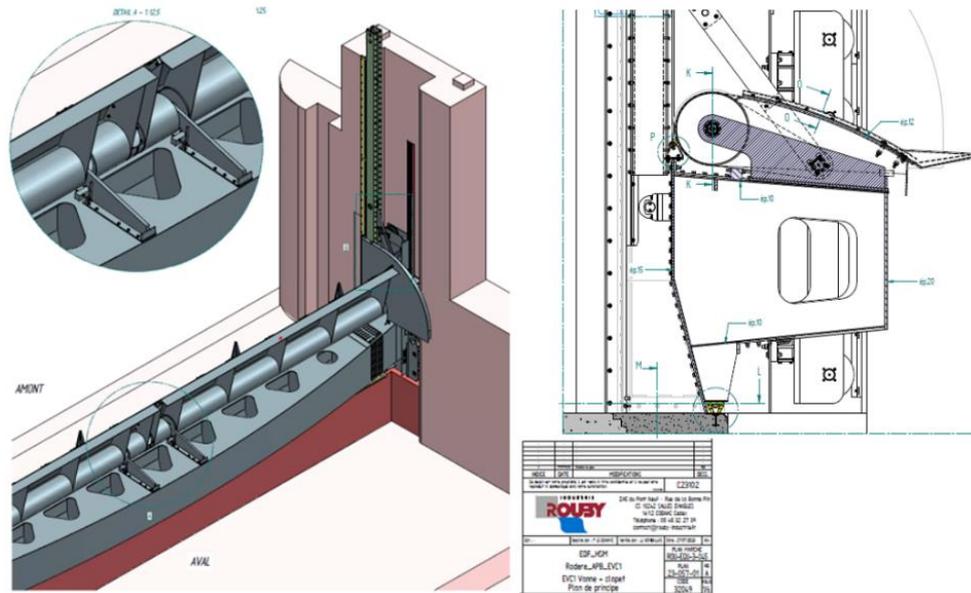


Figure 3 : Intégration de la nouvelle vanne équipée du clapet (source : Roubly Industrie)

Le mode opératoire s'appuie principalement sur un ponton-grue comme moyen de levage et d'une structure de calage telles que l'illustrent les figures suivantes.

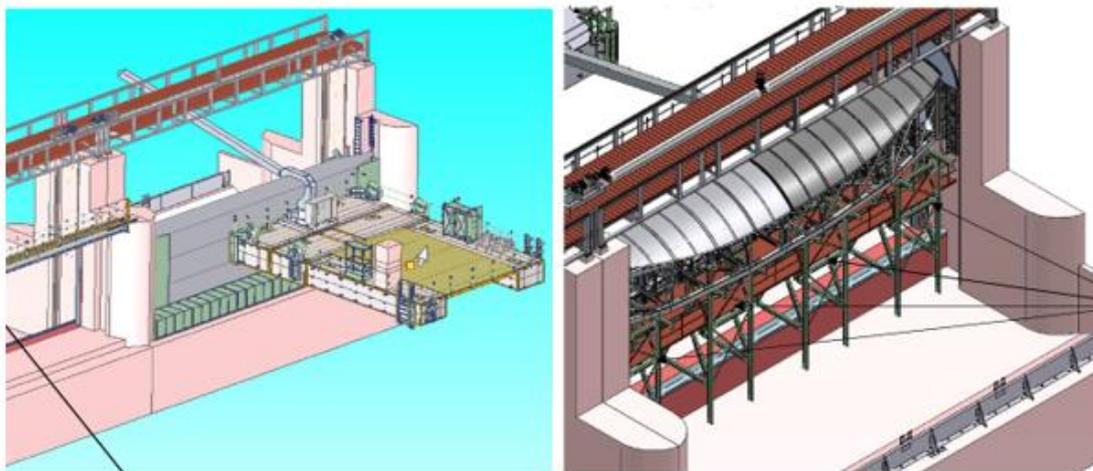


Figure 4 : Illustration des moyens de levage (vue amont / vue aval) (source : Roubly Industrie)

Le planning global de l'opération prévu est le suivant :

- Mars / Juillet 2023 : Développement du code automate et de la plateforme ControlBuild par Hydrostadium. Qualification du code sur sa plateforme de tests.
- Août / Octobre 2023 : Remplacement de l'automate barrage
- Juillet 2024 / Mars 2025 : Remplacement de la vanne rive droite
- Juillet 2025 / Mars 2026 : Remplacement de la vanne centrale
- Juillet 2026 / Mars 2027 : Remplacement de la vanne rive gauche.

Cet ordonnancement permet ainsi de maintenir le barrage en exploitation en évitant la période d'exposition aux plus fortes crues, entre mai et juin, avec une passe batardée.

L'avancement de l'opération au moment de l'écriture de l'article (décembre 2023) est conforme au prévisionnel. En termes de travaux sur site, l'automate barrage a pu être remplacé et requalifié tout en conservant le barrage en exploitation.

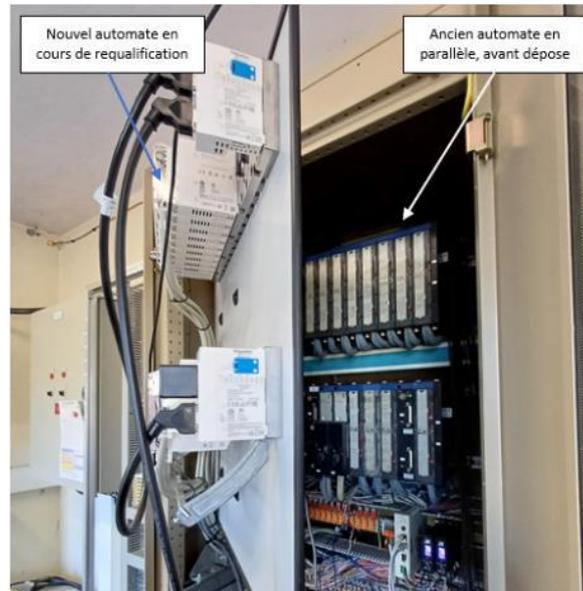


Figure 5 : Montage temporaire des 2 automates en parallèle en cours de requalification (source : Photo Hydrostadium)

Comme prévu contractuellement, la marche semi-industrielle a ensuite pu être lancée afin d'éprouver le fonctionnement en phase d'exploitation avec différentes conditions hydrauliques.

6. CONCLUSION

Les travaux n'étant pas terminés, il est trop tôt pour anticiper sur un retour d'expérience globale sur l'ensemble du projet. Néanmoins, au-delà de cette 1^{ère} phase qui s'est déroulée normalement, nous pouvons constater que ce mode de consultation a permis des échanges riches et approfondis lors des différents jurys, aussi bien sur des aspects techniques de conception, que sur les modes opératoires en lien avec les risques majeurs du projet. Les modes opératoires ont ainsi pu être affinés et adaptés aux enjeux du projet, notamment la sûreté d'exploitation de l'aménagement, pendant et après l'opération.

REMERCIEMENTS

A ce stade du projet, nous tenons notamment à remercier pour leur implication et leur disponibilité sur chacune des phases rencontrées :

- Le maître d'ouvrage représenté par M. Guillaume HIGOUNENQ et M. Maxime TIRMAN
- L'exploitant représenté par M. Thierry LEDESMA, M. Benoît CROS et M. Saïd OU HAMMOU
- Les entreprises soumissionnaires ayant participé activement à ce dialogue compétitif (GME Rouby/Aevia ; GME Endel/Hydro/VCMF ; GE ; GME CMI Tech5I-Pastor/Matière)
- L'équipe projet d'Hydrostadium : Mlle Claudia AULAGNER, M. Guillaume LLABARRENA, M. Baba HANE, M. Gaël ORDUREAU, M. Lionel JAYME.