

RENOVATION DU BARRAGE DE POSES – REMPLACEMENT DU PONT DE MANŒUVRE EN MAINTIEN D'EXPLOITATION

Renovation of the Poses dam – replacement of the maneuvering bridge while maintaining operations

Jean-Philippe SIXDENIER, Jamal Eddine BOUZAOUÏ, Jef PHILIPPINE

ISL Ingénierie, 75 boulevard MacDonald 75019 Paris

sixdenier@isl.fr; bouazaoui@isl.fr; philippine@isl.fr

MOTS CLEFS

Barrage de navigation, contraintes hydrauliques en phase travaux, vanne levante à clapets

KEY WORDS

Navigation dam, hydraulic constraints during construction phase, vertical lift gate with flap gate

RÉSUMÉ

Le barrage de Poses, construit en 1887, joue un rôle clé dans la navigation fluviale sur la Seine. Des problèmes structurels tels qu'une fosse d'érosion en aval, une absence de cohérence des maçonneries des radiers et la corrosion avancée du pont corrodé ont justifiés une modernisation majeure. Les travaux, d'un coût de 32 M€ HT₂₀₁₉ ont débuté en 2020 et sont étalés sur six saisons de 6 mois centrées sur l'été.

Les contraintes d'exploitation ont dicté un découpage des travaux par passe, chaque passe de 34 m d'ouverture devant être remplacée en 3 mois. Cela a conduit à des adaptations du pont, en particulier pour les appuis, et a nécessité des moyens logistiques importants pour limiter l'interruption de l'exploitation.

Les principaux enseignements du projet sont l'absolu nécessité de disposer de levés topographiques précis et d'anticiper le mouvement de la nouvelle structure supportant les organes. A défaut, des difficultés peuvent apparaître lors des travaux ou de la mise en exploitation.

ABSTRACT

The Poses Dam, commissioned in 1887 on the Seine river, facilitates navigation and handles 30% of national river traffic. The current structure, crucial in connecting Le Havre to Paris, is undergoing a €32 million modernization. The dam's aging state, including erosion threats and corroded infrastructure, necessitates extensive refurbishment. The replacement of the lattice bridge is a key aspect. With works initiated in 2020, it spans six seasons, each part of the bridge being replaced in only 3 months. Adaptation of the bridge was crucial.

Challenges include unexpected movements due to the new bridge's flexibility and necessity of a precise implantation of each element.

1. LE BARRAGE DE POSES : UN OUVRAGE ANCIEN D'IMPORTANCE STRATEGIQUE

Le barrage de Poses, le plus en aval sur Seine, a été mis en service en 1887 pour assurer la navigation dans un secteur où elle était particulièrement difficile. L'ouvrage et les 2 écluses qui le flanquent en rive gauche voient passer environ 30% du trafic fluvial national, sur un axe stratégique reliant le port du Havre à Paris et demain à l'ensemble du nord de la France via le Canal Seine Nord Europe. L'exploitation et la gestion de l'ouvrage sont opérées par Voies navigables de France, au travers de l'Unité Territoriale du Bassin de la Seine.

Un complexe éclusier en rive droite permet de franchir la chute générée par le barrage, et une centrale hydroélectrique est présente en rive gauche.



Figure 1 : Aménagement général du site

Le barrage, long de 240 m, est constitué initialement de 7 passes de 30 m d'ouverture chacune, chacune équipée d'un rideau dit « Caméré », du nom de l'ingénieur ayant procédé à son étude et à sa réalisation. La chute, initialement de 4 m, a été portée à plus de 8 m en 1939 par la suppression du barrage de Martot en aval. Le barrage est depuis cette date soumis à l'influence des marées.

L'ouvrage est surplombé par un pont treillis sur lequel les rideaux « Caméré » prennent appui. Les travées du pont entre les passes 3 et 7 sont hyperstatiques : un seul appui est présent sur les piles.

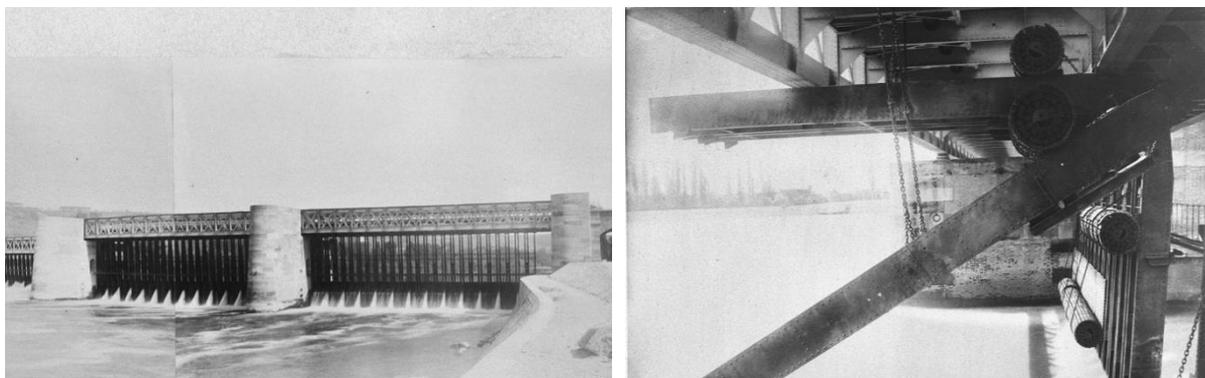


Figure 2 : Vue depuis l'aval à la construction (gauche) et Manœuvre des rideaux « Caméré » d'origine (à droite)

2. L'OUVRAGE ACTUEL : UN FONCTIONNEMENT SATISFAISANT MAIS UNE MODERNISATION NECESSAIRE

2.1. Modifications apportées à l'ouvrage depuis sa construction

Le barrage a depuis subi de nombreuses modifications : les passes d'extrémités ont été condamnées, et les rideaux Camérés d'origine des 5 passes centrales ont été remplacés par des vannes levantes munies de clapets.

Ces travaux ont été menés passe par passe entre 1950 et 1982. Depuis 1982, aucuns travaux d'envergure n'ont été menés sur l'ouvrage.

Aujourd'hui, quatre des passes sont équipées chacune de deux vannes levantes munis de clapet et de 15 m d'ouverture chacune. Une pilette centrale, fondée dans les radiers d'origines, assure la séparation des deux demi-passes. Les organes des demi-passes sont indépendants les uns des autres.

La dernière passe est équipée d'une vanne levante monobloc de 30 m d'ouverture. Cette vanne ne permet qu'un fonctionnement sous verse.

Du fait de la durée relativement longue de la modernisation, aucune des passes n'est identique.

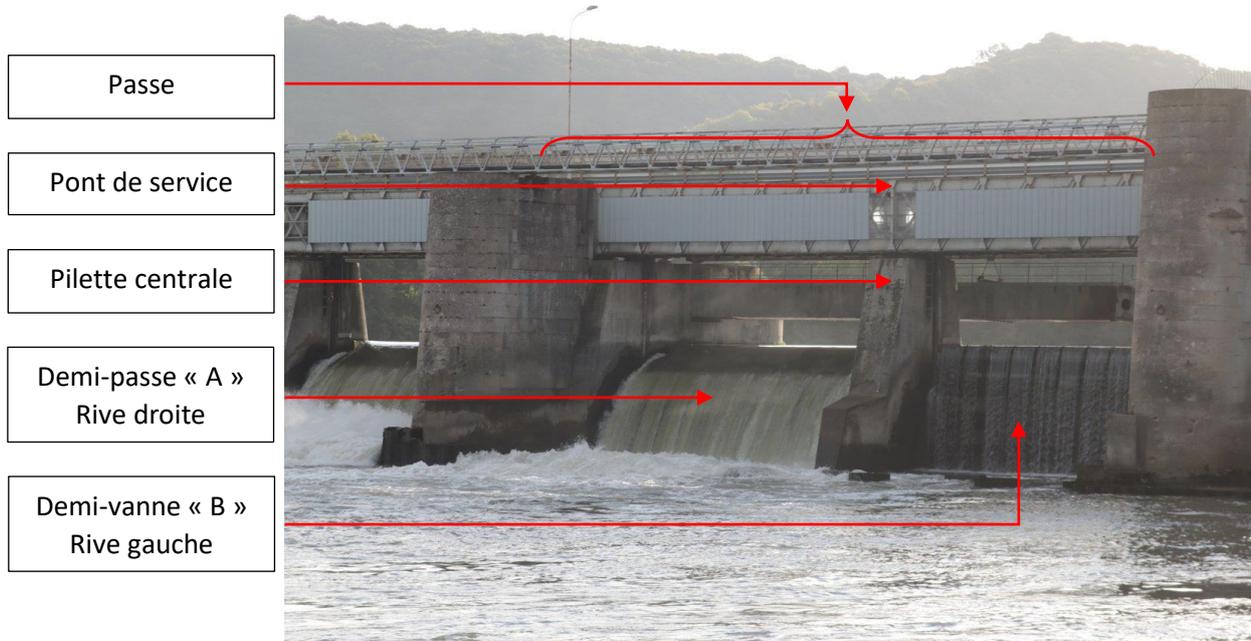


Figure 3 : Vue aval de l'ouvrage actuel : découpage d'une passe en deux demi-passes

2.2. Manœuvres des équipements

Le pont surplombant l'ouvrage abrite les équipements de manœuvre des différents organes, et a dû subir des adaptations pour les accueillir. Ce pont présente trois niveaux, chacun dévolu à une fonctionnalité (cf. Figure 4) :

- Le niveau supérieur du pont assure la desserte routière de la rive gauche des écluses ;
- Le niveau inférieur abrite les organes de manœuvre des clapets, à savoir deux vérins disposés sur la coursive aval ainsi que les centrales oléohydrauliques associées. C'est également à ce niveau que sont implantées les armoires électriques d'alimentation et de commande des organes ;
- Le niveau intermédiaire abrite les organes de manœuvre des vannes, à savoir un treuil par vanne et deux poulies de renvoi horizontales. Les câbles de traction des vannes traversent donc le treillis du pont. Les poulies de renvoi verticales sont disposées sur le génie civil des piles.

Les efforts appliqués par la retenue sur les vannes et clapets sont reportés presque intégralement sur les piles. Seuls les efforts de manœuvre des clapets et des vannes sont reportés sur le pont.

2.3. Les organes de manœuvre des vannes et clapets

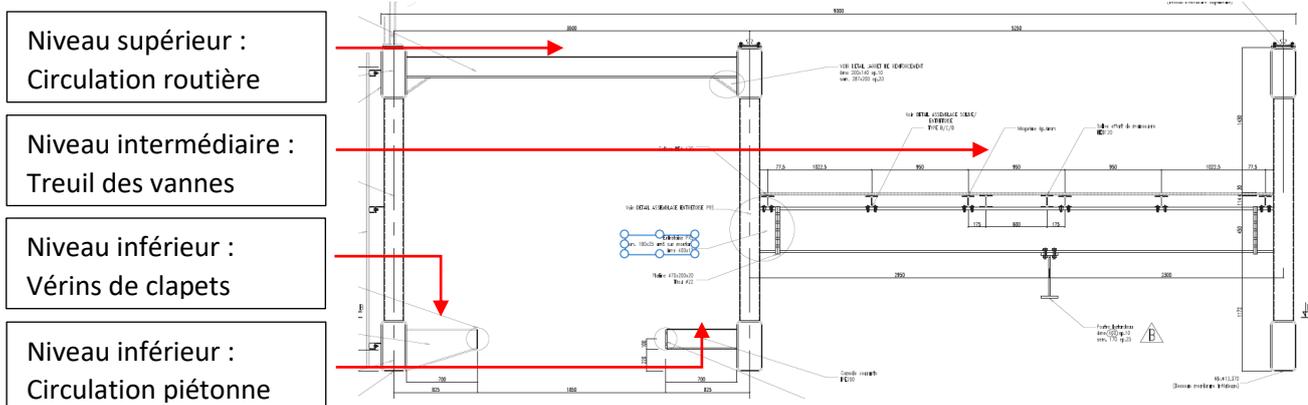


Figure 4 : Coupe en travers aval-amont du nouveau pont (amont à droite ; extrait plan Berthold)

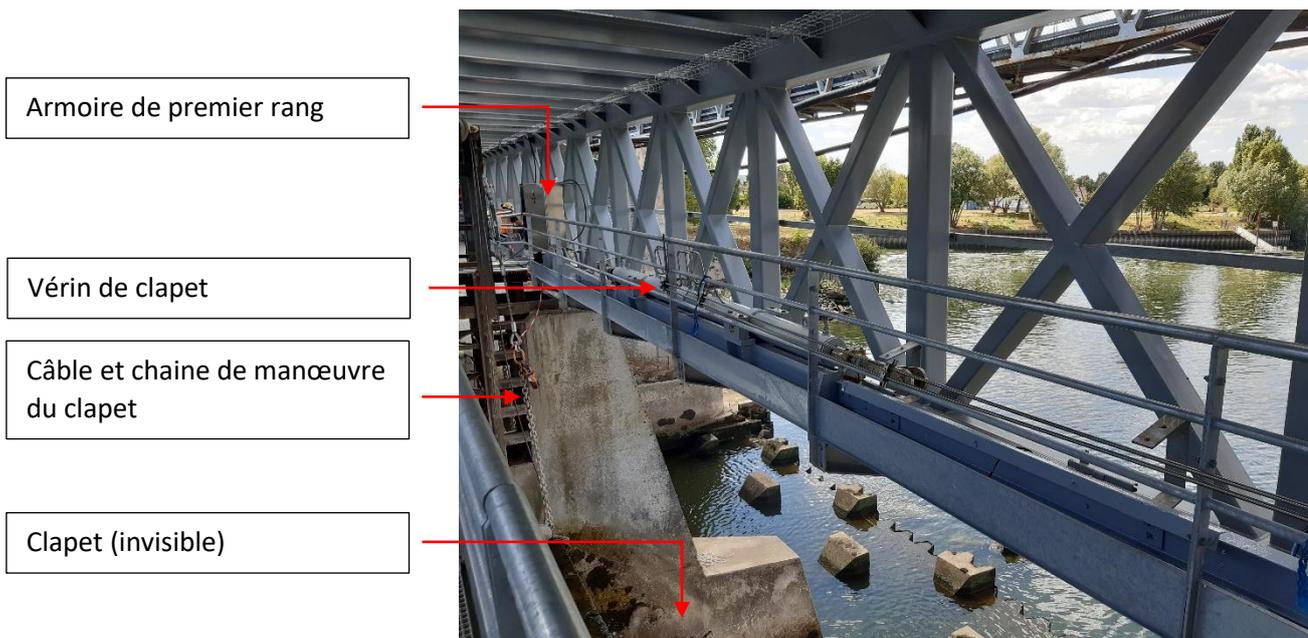


Figure 5 : Vérin de clapet au niveau inférieur du pont

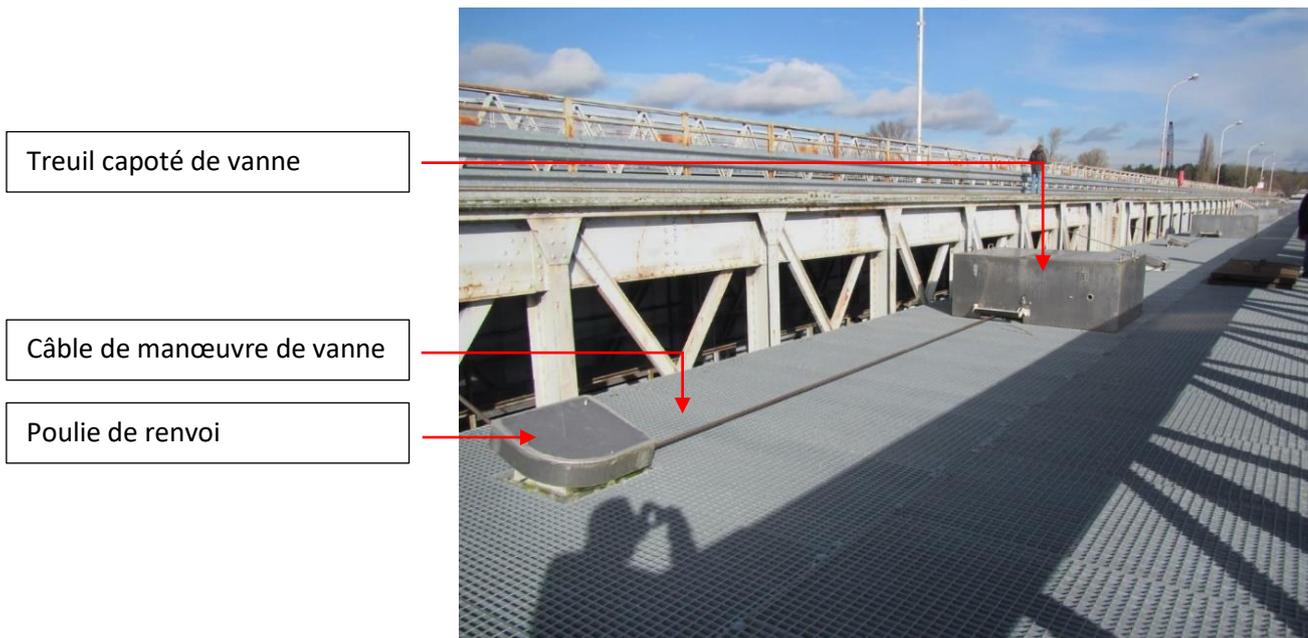


Figure 6 : Treuil et poulie de renvoi des vannes au niveau intermédiaire du pont

2.4. Automatisation et contrôle commande

La cote de consigne du bief amont est réglée à +8,35 mNGF (± 15 cm) à l'amont immédiat des écluses par le biais d'un automate programmable industriel. Celui-ci manœuvre les organes par pas successifs. L'ouverture complète de tous les clapets est nécessaire avant la manœuvre des vannes.

Les pas de manœuvre sont réalisés par le biais de la mesure de position de l'organe, ou par contrôle du temps de manœuvre si cette mesure est indisponible. L'exploitant peut consigner logiquement une vanne particulière afin d'en interdire la manœuvre, mais ne peut modifier l'ordre d'ouverture des passes.

Chaque passe est équipée d'un îlot d'entrées/sorties déporté de l'automate implanté dans l'armoire électrique de passe. Ces îlots sont raccordés au bus de terrain par fibre optique, non bouclée avant travaux.

Les vérins des clapets sont munis de codeurs à câbles et de capteurs de fin de course, permettant de déterminer précisément la position des clapets. Cette instrumentation à l'abri du pont est relativement robuste, l'exploitant ne faisant pas remonter de dysfonctionnement à son sujet.

Chaque vanne est équipée de capteurs de fin de course très haut, haut et bas (boîte à cames sous le capot de treuil) ; d'un capteur de position fixé sur le treuil ; de capteurs de charge fixés sur les points d'accroche au génie civil ; de capteurs de mous de câbles fixés sur le bâti du treuil ; et de codeurs à câbles sur chaque vanne. Ces derniers sont peu robustes, les câbles descendant le long des voiles de chaque passe étant régulièrement arrachés par les embâcles.

Cette instrumentation permet à l'automate de détecter un écart de chargement entre les deux rives de la vanne, ou un défaut d'horizontalité, ce qui permet d'interrompre la manœuvre.

Les organes sont manœuvrables localement par l'intermédiaire d'une boîte à boutons, ou à distance depuis l'IHM tactile présent au local barragiste en rive droite. Le barrage sera prochainement téléconduit.

2.5. Un état préoccupant nécessitant des travaux d'envergure

L'ouvrage actuel présente plusieurs pathologies : une fosse d'érosion s'est créée en aval, menaçant la stabilité du barrage, les maçonneries des radiers ont perdus de leur cohésion et le pont métallique surplombant l'ouvrage est très fortement corrodé, nécessitant son remplacement intégral. En outre, la vanne monobloc de la passe 6, mise en place en 1972, doit être rénovée et désamiantée, et l'ensemble de l'instrumentation des dispositifs de manœuvre est remplacée.

Devant ce constat, Voies Navigables de France a lancé des travaux de modernisation d'envergure, pour un montant de 32 M€ HT₂₀₁₉. Les travaux sont menés par le groupement Ocelian-Actemium-Berthold-Botte fondation et la maîtrise d'œuvre est assurée par le groupement ISL Ingénierie-AMH.

En dehors de la vanne de la passe 6, il n'est pas prévu de travaux sur les vannes et clapets, qui donnent aujourd'hui satisfaction à l'exploitant.

Les travaux ont démarré en 2020 et sont prévus sur 6 saisons du 01/05 au 31/10 de chaque année. Le maintien de l'exploitation nécessite de phaser les travaux en plusieurs sous opérations : en premier lieu le traitement de la fosse d'érosion sur toute la largeur du barrage, puis le remplacement progressif du pont et enfin la réalisation des injections dans les radiers. Ce phasage est nécessaire car, pour des raisons de sécurité notamment, il est impossible de réaliser sur une même passe l'ensemble des opérations simultanément.

La vue en coupe suivante présente la succession des opérations à mener :

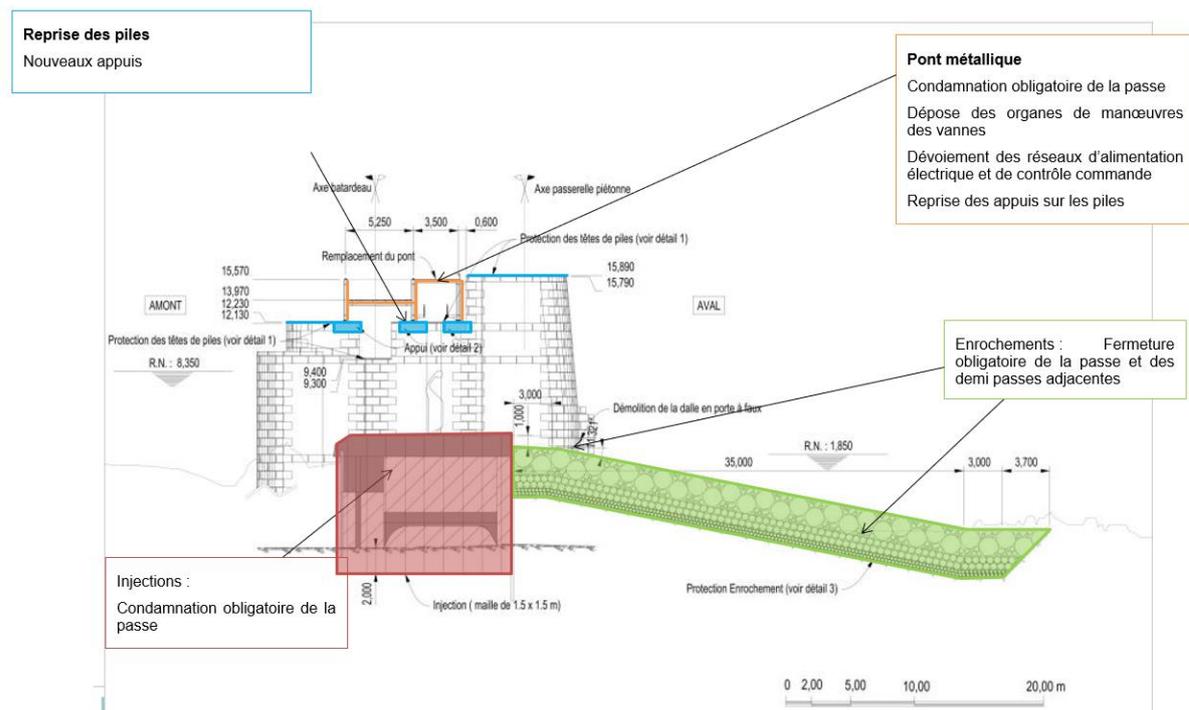


Figure 7 : Juxtaposition verticale des travaux à mener

La fosse d'érosion en aval a été confortée en 3 campagnes de 6 mois étalées de 2020 à 2023. Le confortement a consisté à disposer 3 couches d'enrochements sur la craie sous-jacente, cette protection en enrochement permettant de limiter fortement les contraintes appliquées directement sur la craie : une couche filtre de 5-40kg, une couche intermédiaire de 180-700 kg et une couche de carapace de classe 3-6T. L'ensemble a été dimensionné à l'aide d'un modèle réduit à fond mobile, objet d'un précédent article présenté au colloque CFBR-SHF de 2017. [1]

Ainsi, fin 2023, l'ensemble des enrochements de protection de la fosse aval a été mis en place, 5 des 7 passes du pont ont été remplacées, et les injections du radier sont prévues sur 2024 et 2025

3. TRAVAUX DE REMPLACEMENT DU PONT : UNE CONCEPTION BASEE SUR LE MAINTIEN D'EXPLOITATION ET L'INTEGRATION DE L'EXISTANT

3.1. Contraintes hydrauliques

- Maintien d'exploitation nécessaire

La crue biennale annuelle au droit du barrage est de l'ordre de 1400 m³/s, et la crue décennale annuelle de l'ordre de 2000 m³/s, tandis que la débitance de chaque passe est de l'ordre de 500 m³/s. Ainsi, en crue décennale, l'ouvrage est intégralement ouvert, et le passage d'une crue biennale nécessite l'ouverture complète de 3 des 5 passes. Ce schéma d'ouverture est par ailleurs évité par l'exploitant, qui préfère répartir le débit sur l'ensemble des passes afin de ne pas solliciter trop fortement l'aval du barrage.

L'exploitant devant assurer l'écoulement de la Seine lors des travaux et lors des crues, l'alimentation électrique des passes ainsi que leur raccordement à l'automatisme doivent demeurer fonctionnels pendant les travaux.

- Saisons de travaux

La période hivernale étant propice aux crues, les travaux sont réalisés entre le 1^{er} mai et le 31 octobre de chaque année. Les échanges avec les services de la préfecture conduisent à autoriser la fermeture d'au plus une passe sur toute la période, et de deux passes sur 5 semaines consécutives.

3.2. Un fonctionnement inchangé

Les fonctionnalités du pont devant être préservé, ainsi que sa silhouette générale, il a été décidé de reconduire la coupe type de l'ouvrage d'origine. La seule concession à la modernité est le recours à des profilés tubulaires soudés en lieu et place des profilés rivetés.

3.3. Un découpage des opérations par passe et un impact sur le schéma statique du pont

Les deux contraintes précédentes ont conduit les opérations à se dérouler passe par passe. Sur chaque saison, la durée entre la déconnexion d'une passe et sa remise en service provisoire est de 3 mois.

Ce découpage par passe nécessite de revoir la conception des appuis du pont : chaque passe est dès lors isostatique et deux appuis doivent être réalisés sur chacune des piles en lieu et place d'un seul appui.

3.4. Une modernisation embarquée : alimentation électrique, éclairage et accès

Le remplacement du pont permet à l'exploitant d'opérer certaines améliorations générales sur l'ouvrage. Ainsi, l'ensemble du dispositif d'éclairage est revu pour faciliter la maintenance par la pose de luminaires au niveau inférieur du pont, et des escaliers permettant de relier des différents niveaux du pont sont mis en place.

Les travaux sont également l'occasion de modifier l'architecture électrique générale de l'ouvrage. La mise en œuvre d'un nouveau TGBT permet de dissocier l'alimentation électrique des écluses ; le groupe électrogène est remplacé à neuf ; et un circuit d'alimentation électrique de secours est mis en œuvre sur la coursive aval afin d'améliorer la disponibilité des équipements. Par ailleurs, un nouveau support fibre optique bouclé est mis en œuvre afin de fiabiliser la commande des équipements. De menus travaux de mise aux normes des arrêts d'urgence sont également menés.

4. DEROULEMENT DES TRAVAUX

4.1. Durée générale des travaux et durée des travaux par saison

Au vu de la durée de chacune des tâches et des contraintes précédentes, deux passes au maximum peuvent être consignées sur une même saison de travaux. Les travaux sont donc étalés sur 4 saisons de travaux, à compter de 2021.

Le groupement a fait le choix d'opérer depuis la rive droite, afin de disposer d'un accès routier pour l'ensemble des opérations.

4.2. Déviation de l'alimentation électrique et du contrôle commande

Préalablement aux travaux, une liaison d'alimentation électrique provisoire depuis le TGBT existant est mis en œuvre sur tout le linéaire du barrage. Cette liaison permet d'alimenter les passes remises en service sans entraver la dépose de la structure du pont sur les autres passes. De même, une liaison fibre optique provisoire est déployée afin d'assurer la communication des organes avec l'automate du barrage pendant toute la durée des travaux.

Le basculement entre les réseaux définitif et provisoire est réalisé en début de saison.

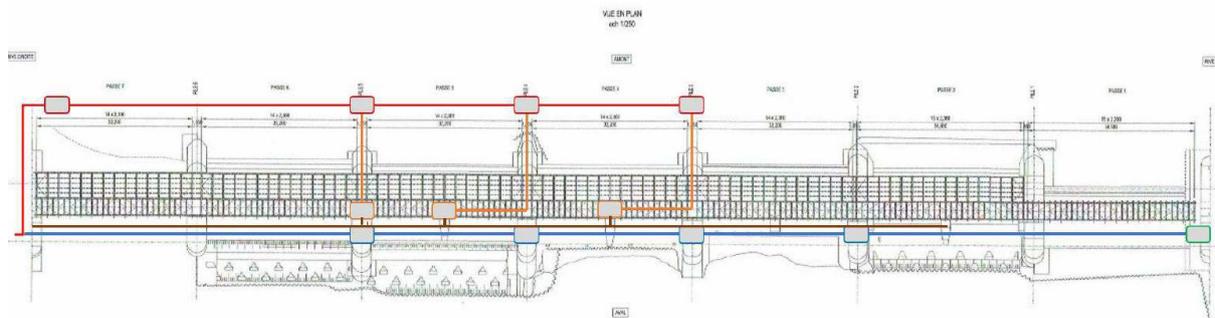


Figure 8 : Schéma d'alimentation provisoire du pont lors des travaux (en rouge, le réseau électrique initial ; en bleu, le réseau provisoire)



Figure 9 : Pont déposé et réseau provisoire d'alimentation électrique (entouré en rouge)

4.3. Pose du pont : une opération éclair par de gros moyens logistiques

Afin de gagner du temps lors la pose, le groupement d'entreprises a opté pour la préfabrication complète du pont en atelier. Chaque travée, d'un poids unitaire d'environ 100 tonnes, est ainsi posée en une seule opération.

La fabrication est réalisée dans les ateliers de Berthold, à Dieue-sur-Meuse (55). Afin de faciliter le transport entre le site et les ateliers, le pont est découpé en deux parties :

- Une première partie constituée du niveau supérieur et inférieur ;
- Une seconde partie constituée du niveau intermédiaire.

L'ensemble est assemblé sur le quai de Limay ou de St Wandrille, en fonction de leur disponibilité, et est ensuite transporté par voie fluviale.

La pose de la travée est assurée par une grue à treillis de 280 tonnes disposés sur un ponton. L'opération de pose en elle-même dure une demi-journée environ.



Figure 10 : Pose du pont en une seule opération

4.4. Séquençage des travaux sur une passe

Les travaux sur une passe se déroulent selon la séquence suivante, sur une durée d'environ 3 mois par passe :

1. Réalisation d'un « Point Zéro » sur chaque passe, actant de l'état de chaque composant de l'installation hydromécanique et électrique avant démontage ;
2. Blocage des clapets en position fermée, dépose de la vanne sur le radier et consignation logicielle de la passe ;
3. Bascule du réseau d'alimentation électrique sur le réseau provisoire ;
4. Démontage des équipements de manœuvre, décâblage et dépose des armoires électriques, (une semaine)
5. Découpe du pont (une semaine)
6. Reprise du génie civil des piles au droit des appuis (un mois)
7. Pose du nouveau pont (opération coup de poing sur une journée)
8. Remontage des équipements de manœuvre, repose et recâblage des armoires électriques, remplacement de l'instrumentation (un mois)
9. Réglage de l'instrumentation (une semaine)
10. Essais de réception partielle. (deux jours)

4.5.Reconditionnement des équipements de manœuvre

Une fois la passe déposée, les équipements de manœuvre sont remis à l'exploitant pour un reconditionnement général par ses soins. Les vérins sont, pour leur part, confiés au groupement pour une vérification complète des chapes, du fût et de la tige.

Une partie des chemins de câble et des équipements, en particulier les vérins, sont mis en place sur le nouveau pont avant sa pose, afin de faciliter ces opérations et de gagner du temps sur site.



Figure 11 : Equipement à quai du pont – vérins à gauche et chemin de câble à droite

4.6.Remise en service et essais de réception

À la suite de la remise en place des différents équipements et préalablement aux essais de réception partielle, le groupement et l'exploitant participent conjointement aux réglages fins des différents capteurs de la passe afin que le comportement des organes soit conforme au comportement initial, et ce malgré les différences géométriques et d'altimétrie du nouveau pont.

Les essais de remise en service sont réalisés en deux temps :

- Une première remise en service locale, par la boîte à boutons, permettant de s'assurer que les équipements sont alimentés et manœuvrent. A l'issue de ces essais, la réception de la passe « en mode local » est prononcée ;
- Une seconde remise en service depuis l'IHM au local barragiste, permettant de contrôler les remontées de signaux de l'instrumentation. A l'issue de ces essais, la réception de la passe « en mode distant » est prononcée.
- Le démarrage des travaux sur une passe ne peut avoir lieu qu'une fois la réception partielle des travaux de la passe précédente prononcée.

5. RETOUR D'EXPERIENCE ET DIFFICULTES RENCONTREES

Les enseignements du chantier sont multiples et parfois inattendus, tant le pont d'origine est vétuste mais parfaitement réglé et connu de son exploitant.

5.1. Implantation des équipements

Le passage des câbles au travers de la structure a nécessité un relevé précis en début de chantier par le groupement. Ce relevé a conduit à identifier les différents conflits entre la structure treillis et les équipements de manœuvre, et a permis de proposer en amont de la construction des adaptations des positions. Afin d'obtenir la précision suffisante, le groupement a fait réaliser un scan 3D complet de l'ouvrage.

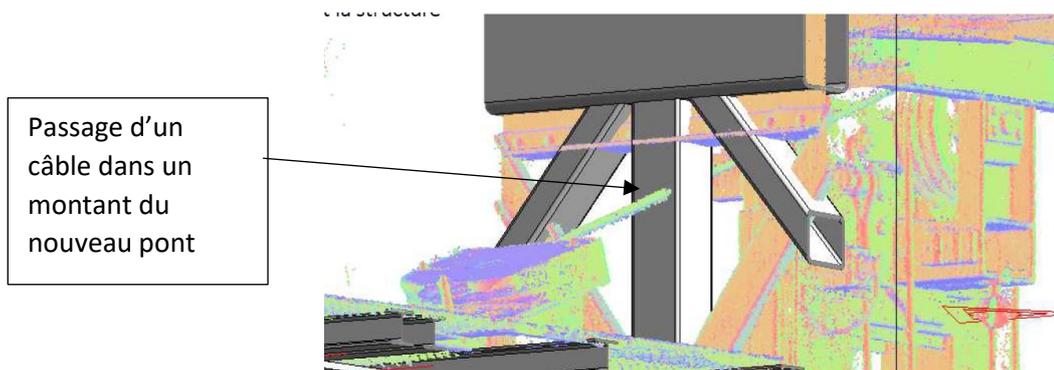


Figure 12 : Visualisation d'un conflit entre la nouvelle structure (en gris) et les équipements de manœuvre (en vert/violet)

5.2. Mouvements différents du pont par rapport à la situation actuelle – réglage nécessaire des capteurs de positions

La modification du schéma des appuis du pont se répercute de manière imprévue sur le fonctionnement des organes. En effet, le nouveau pont, isostatique, est plus souple que le pont initial. Ainsi, lors d'une manœuvre d'une vanne située sur une demi passe rive droite, le déplacement du pont vers l'aval sous l'effet de cette manœuvre conduit à déclencher les capteurs de mous de câble des organes de la demi-passe adjacente. Des réglages plus fins ont dû être réalisés avec l'exploitant, afin d'éliminer ces déclenchements intempestifs.

5.3. Niveaux d'eau amont et aval lors de la mise en service

Une protection en enrochement a été disposée en aval dans la fosse, afin d'éviter son approfondissement. La stabilité de ces enrochements, qui a été étudiée sur modèle réduit, dépend fortement du matelas d'eau disponible en aval : à pleine ouverture de vanne, ils ne sont stables que si le niveau aval est important.

La remise en service complète, permettant d'opérer les fins de course haut des vannes, a donc été reportée à des conditions d'ennoiement de l'aval suffisante, dépendant à la fois du débit de la Seine et des coefficients de marée. La réactivité du groupement a permis de mobiliser les équipes dans les temps impartis avant chaque hiver.

5.4. Réglage de l'instrumentation et essais de réception

Le découpage des travaux par passe, le fonctionnement de l'automatisme existant, les contraintes de délais et les retards d'exécution peuvent rendre difficiles les remises en services et les essais de réception, qui s'avèrent bien souvent mêlés au cours d'une seule et même journée. Dans ce cadre, la rédaction de procédures claires en amont des phases de basculement et de remise en service, la capitalisation de l'expérience des passes précédentes et l'interface avec l'exploitant se révèlent fondamentales pour respecter les contraintes d'exploitation de l'ouvrage.

6. CONCLUSION ET SUITE DES TRAVAUX

Les contraintes d'écoulement de la Seine et le souhait commun de l'exploitant et de l'administration de limiter le risque en cas de crue ont conduit à adapter le projet de rénovation en vue de limiter la durée des opérations. Cette double contrainte a conduit à devoir conserver les équipements de manœuvre et à adapter le fonctionnement général du pont pour permettre le remplacement par passe et la remise en service au plus tôt.

Les travaux se poursuivront en 2024 par la dépose des passes 6 et 7 et la rénovation complète du système de batardage et de la vanne monobloc de la passe 6.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Voies navigables de France, et plus particulièrement le bureau de la maîtrise d'ouvrage de l'UTI des Boucles de la Seine pour la confiance accordée depuis 2014, et le groupement d'entreprise Ocelian-Berthold-Actemium-Botte fondations pour la qualité des prestations réalisées.

RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] SIXDENIER Jean-Philippe, SHAIK Salah, ERPICUM Sébastien, PIROTON Michel, LAHAYE Roger. Protection contre l'affouillement du barrage de Poses-Amfreville : études sur modèles réduit et numérique. In Colloque "Hydraulique des barrages et des digues". Chambéry : CFBR-SHF - 29,30 novembre 2017. ISBN 979-10-93567-16-7 & 979-10-96371-04-4. p. 142-153