



# RESTAURATION DU BARRAGE DE VAUX (89)

AUTEURS : PIERRE CHAUGNY, DIRECTEUR DE PROJET, INGÉROP - PIERRE BOUGAUD, CONDUCTEUR DE TRAVAUX, MAIA SONNIER

DÉBUT 2014, AU LANCEMENT DE L'OPÉRATION, VOIES NAVIGABLES DE FRANCE (VNF) GÉRAIT ENVIRON 144 BARRAGES ANCIENS À MANŒVRE MANUELLE. CES OUVRAGES NE CORRESPONDANT PLUS AUX BESOINS ACTUELS D'EXPLOITATION, VNF A ENGAGÉ, SUR PLUSIEURS ANNÉES, UN VASTE PROGRAMME DE RESTAURATION. LE BARRAGE DE VAUX FAIT PARTIE DE CES BARRAGES À AIGUILLES, À RECONSTRUIRE, À MODERNISER ET À ÉQUIPER D'UNE PASSE À POISSONS. LA PARTICULARITÉ DU NOUVEAU BARRAGE DE VAUX RÉSIDE DANS L'UTILISATION DE BOUCHURES GONFLÉES À L'EAU, PEU PRÉSENTES EN FRANCE.

## CONTEXTE DE L'OPÉRATION

Le barrage de Vaux est situé sur l'Yonne près d'Auxerre. Il est appuyé en rive gauche contre la pointe de l'île qui sépare, côté rive gauche le canal du Nivernais de l'Yonne et contre la berge de l'Yonne en rive droite (figure 2). Il régule donc le bief de

**1- Vue générale de l'ouvrage en phase chantier.**

**1- General view of the structure in the construction phase.**

Vaux sur le canal du Nivernais. Constitué de 4 passes, le barrage a une longueur totale de 105,50 m. La hauteur de chute est de 1,12 m. Il se compose :

→ D'une passe fixe maçonnée (D1) en rive gauche d'une longueur de 55 m ;

- D'une passe mobile à manœuvre manuelle (PA1), d'une longueur de 8,05 m équipée d'une passerelle tournante ;
- D'une passe à fermettes abattibles (PA2, figure 3) d'une longueur de 25 m (aiguilles et fermettes de type Poirée) ;



→ D'un déversoir maçonné (D2) de 17,50 m en rive droite.

Le programme lancé par Vnr a pour priorités la mise en sécurité des barrages afin de garantir la sécurité des exploitants et la restauration des barrages en raison de leur mauvais état général et de l'urgence de réaliser les travaux.

En avril 2014, Ingérop, Conseil & Ingénierie, associé à Geos Ingénieurs Conseils, a été désigné attributaire du marché de maîtrise d'œuvre de la restauration du barrage de Vaux. Cette mission de maîtrise d'œuvre est associée de trois missions complémentaires : l'élaboration des dossiers de procédures administratives, l'aide à l'information des usagers et la gestion des contrôles extérieurs de chantier.

L'opération comprend dans le périmètre du barrage existant :

- La restauration/remplacement des 4 passes du barrage existant ;
- La construction d'un dispositif de franchissement piscicole ;
- La mise en place de postes de commande et de surveillance, y compris un local de commande déporté ;
- La démolition des parties du barrage existant qui ne sont pas réutilisables ;
- La construction d'une passerelle de service sur le barrage permettant de franchir la rivière de la rive droite vers l'île, si besoin.

La restauration du barrage doit permettre d'optimiser la gestion hydraulique du plan d'eau amont par une réponse rapide aux crues, une régulation fine du plan d'eau amont et une mécanisation de l'ouvrage à construire.



logiques en positionnant le nouveau barrage à l'amont, à l'abri des fosses de dissipation formées par le ressaut hydraulique à l'aval des barrages actuels.

De plus le niveau de retenue amont permet le mouillage nécessaire pour l'accès par barge.

En phase exploitation, la conservation du radier maçonné du barrage actuel

- 2- Photo aérienne du barrage de Vaux en 2014.
- 3- Passe PA2 partiellement abattue.
- 2- Aerial photo of Vaux Dam in 2014.
- 3- Channel PA2, partially demolished.

préviennent la formation de fosses de dissipation à l'aval du barrage projeté et réduit donc les risques d'affouillement de la fondation.

Le nouveau barrage comporte deux passes d'une largeur de l'ordre de 27 m chacune qui s'implantent en amont des anciennes passes PA1 et PA2 ainsi que du déversoir D2 (figure 5).



**CONCEPTION GÉNÉRALE DU NOUVEAU BARRAGE**

L'implantation et le choix du nombre de passes résultent d'un compromis pour satisfaire au mieux les critères et contraintes hydrauliques, économiques et techniques. Le choix du nombre de passes est fait en tenant compte de la souplesse d'entretien et d'exploitation. Il est aussi le au mode de construction adopté, qui dépend de l'importance du débit de l'ouvrage, du type de bouchure choisi, de la configuration des ouvrages existants et de la nature des sols.

Le choix d'implantation s'est porté sur la construction du nouveau barrage à l'amont immédiat du barrage existant (figure 4).

En phase travaux, l'implantation proposée permet, outre un accès facile au chantier, de réduire les allées géo-

Les piles P2 et P3 seront démolies tout comme le seuil fixe du déversoir rive droite D2. La culée rive droite est cependant conservée.

Le nouveau barrage est composé des éléments suivants :

- De deux passes équipées de bouchures gonflées à l'eau (BGE) de 27,30 m de long par 2,05 m de haut, la passe n°1 étant située au centre de la rivière, la passe n°2 côté rive droite ;
- D'un nouveau radier de béton de 8,50 m de large et 56,20 m de long, dont l'épaisseur varie entre 1,5 m et 1,8 m ; le niveau du seuil étant de 99,20 NGF ;

- 4- Position of the new dam upstream of the old one.
- 5- Location of the new dam according to the shape of the old dam.

→ De trois piles d'épaisseur variable ;

→ D'une passe à poissons, composée de 6 bassins successifs, implantée en "enroulant" le local technique BGE ;

→ D'un système de puis de régulation, aussi appelé poste de pompage ou local technique BGE (par opposition dans le bâtiment existant), permettant la régulation des bouchures.

Sur le plan hydraulique, le nouveau barrage possède une capacité d'évacuation identique, voire supérieure à la situation actuelle pour assurer la transparence hydraulique.

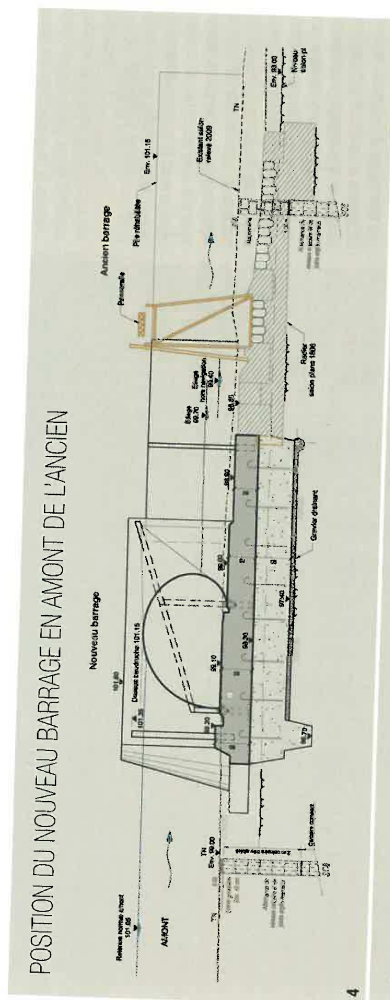
La capacité d'évacuation (débitance) du nouveau barrage a été évaluée et a fait

l'objet d'une courbe de tarage. Ainsi, pour le niveau normal de la retenue et avec les deux bouchures complètement ouvertes, la capacité transmise par le barrage mobile est de 157 m<sup>3</sup>/s.

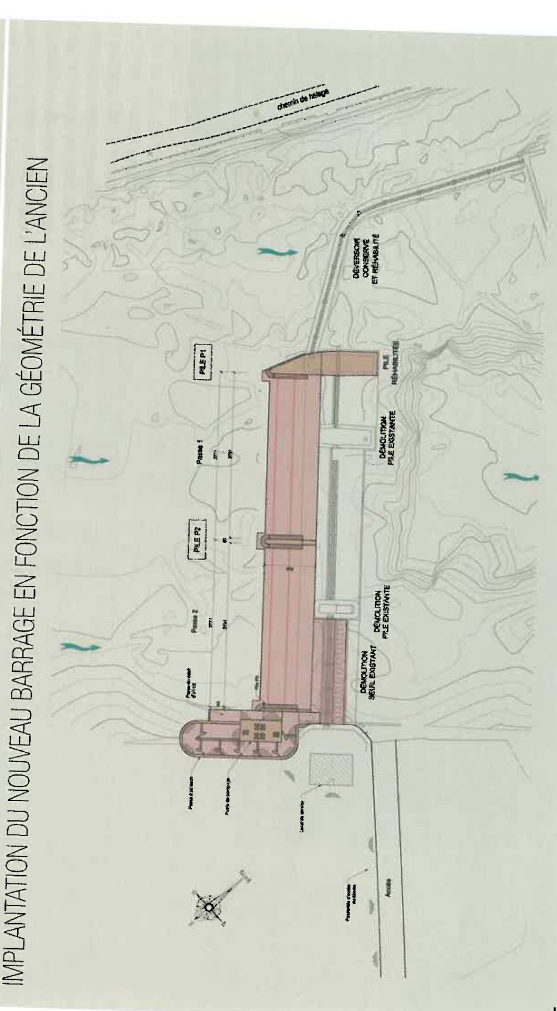
Le niveau de la retenue étant 101,05 NGF (= niveau du déversoir fixe D1 en rive gauche après transformation), il a été choisi un aeras des vannes en position fermée de 101,15 NGF pour permettre une revanche de 10 cm par rapport au niveau de retenue normale. Ainsi, la hauteur nominale des vannes est de 2,05 m.

Le choix du type de bouchures s'est porté sur la technologie des barrages gonflés à l'eau (BGE).

**POSITION DU NOUVEAU BARRAGE EN AMONT DE L'ANCIEN**



**IMPLANTATION DU NOUVEAU BARRAGE EN FONCTION DE LA GÉOMÉTRIE DE L'ANCIEN**



**6- Schéma de fonctionnement d'un Barrage Gonflé à l'Eau (BGE).**

**6- Operating diagram of a water-inflated dam.**

Les barrages gonflables sont des bouchures souples constituées d'une membrane souple fixée sur un radier en béton de manière à créer un corps de barrage avec une cavité intérieure élastique.

En général, la membrane de caoutchouc est composée d'un lié d'élastomère renforcé d'une ou de plusieurs couches d'un tissu en polyester ou polyamide.

Ce qui caractérise un barrage gonflable, c'est la reprise linéaire directe de la charge hydraulique dans le radier béton et les fondations, sans que cette charge ne soit reprise par la bouchure et amenée dans les piles où elle est reportée sur la fondation de manière concentrée, comme pour les vannes ou clapets métalliques.

La manœuvre de la bouduche, soit le remplissage (gonflage) et la vidange (dégonflage), se fait par un système de puits de régulation, appelé dans ce projet poste de pompage (figure 6).

Pour être en mesure de manœuvrer les passes du barrage de manière indépendante, le poste de pompage comporte autant de chambres de remplissage et de régulation que de passes.

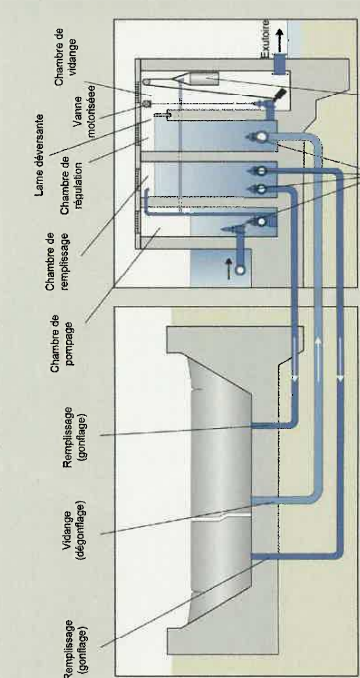
La passe à poissons a fait l'objet d'une attention particulière lors de sa conception. Afin de vérifier les conditions hydrodynamiques particulières à l'entrée aval du dispositif de franchissement dont la conception, l'implantation et la géométrie adoptées sont peu habituelles, une analyse hydraulique détaillée au moyen d'une modélisation 3D de la passe à poissons a été menée (figure 7).

La modélisation a aussi permis de vérifier le débit d'attrait complémentaire à lâcher par le canal d'attrait, notamment en été.

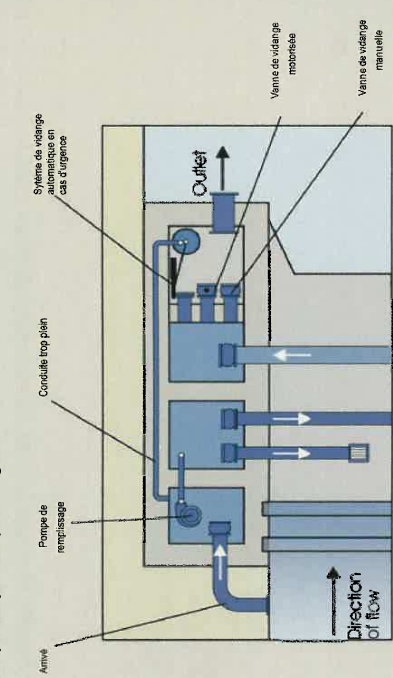
**RÉALISATION DES TRAVAUX**

La tempête Eleanore, les 2 et 3 janvier 2018, a bousculé le planning et l'ordre de démarrage des travaux (figure 8). Le déversoir D1 en rive gauche d'une longueur de 55 m a été totalement détruit et, en particulier, la passerelle

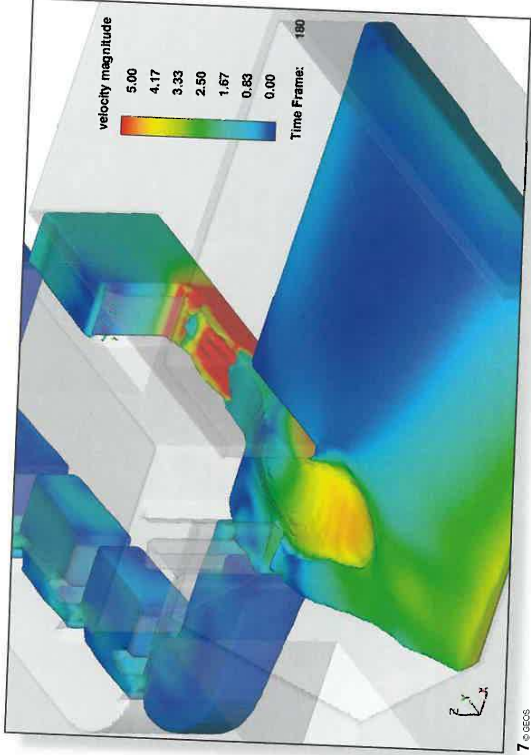
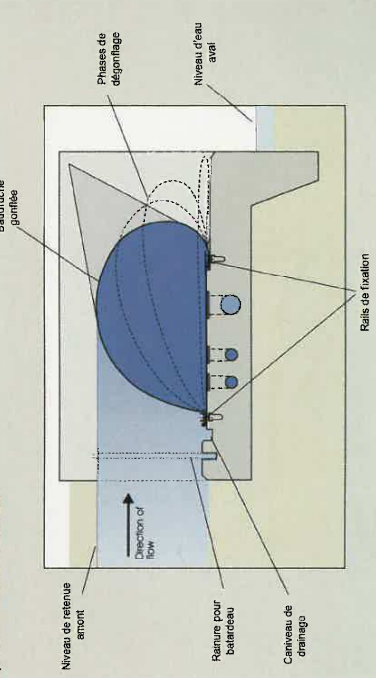
**SCHEMA DE FONCTIONNEMENT D'UN BARRAGE GONFLÉ À L'EAU (BGE)**  
Vue de face de la bouduche et coupe du système de puits de régulation



Vue en plan du système de puits de régulation



Coupe de la bouduche et du radier



- 7- Vue générale 3D et élargi du modèle réalisé sous FLOW-3D.
- 8- Déversoir après la tempête Eleanore.
- 9- Déversoir avant mise en place des pierres de couronnement.

- 7- General and extended 3D view of the model produced under FLOW-3D.
- 8- Spillway after Storm Eleanore.
- 9- Spillway before placing coping stones in position.

de service a été détruite et emportée par les flots.

Un marché de travaux d'urgence a été lancé pour reconstruire le déversoir figuré et tenir la ligne d'eau. Ce marché a été notifié le 15 mai 2018 au groupement Mala Sommier/Mala Fondations. Une fois la zone batardeé et asséchée, les travaux ont consisté principalement en :

- La dépose et l'évacuation du plâtrage métallique de la passerelle et de la ligne de vie courant sur le déversoir, ainsi que la démolition et l'évacuation des piles en béton de la passerelle ;
- La dépose soignée des pierres de couronnement en vue de leur réutilisation et la récupération de celles qui étaient tombées à l'aval ;
- La déconstruction soignée du corps du déversoir jusqu'à obtenir une arase saine non-déstructurée ;
- La réalisation d'une bèche ancrée au substratum rocheux et d'un voile d'étanchéité sur la face amont du déversoir puis d'un nouveau corps de seuil en béton faiblement armé ;
- La reconstruction de l'arase de seuil avec les pierres de couronnement réutilisées ;

→ La protection du talus aval en enrochement non-géfil (béton de classe granulométrique LMA 60/300). Le marché principal de restauration du barrage de Vaux a été attribué à l'entreprise Mala Sommier le 21 janvier 2019. Trois sous-traitants ont été déclarés au démarrage du chantier : Mala Fondations, Sgi Ingénierie et Hydroconstruct. Le chantier a duré au total 10 mois à la suite de 2 mois de période de pré-paraçon.

Avant les travaux de génie civil, un batardeau a été créé en périphérie du chantier permettant ainsi de travailler au sec. Ce batardeau est constitué d'une



digue en terre (matériau concassé enrichi en fines argileuses) avec un rideau de palplanches en son centre. Pour ce chantier, plus de 5000 m<sup>3</sup> de matériaux ont été mis en œuvre. Les fuites d'eau ont été canalisées et pompées : 5 pompes d'une capacité maximum cumulée de 800 m<sup>3</sup>/h ont été mises en place.

Le barrage existant a été ensuite démolí (pelle 30 t avec BPH) et le nouvel ouvrage a été construit en amont des vestiges de celui-ci. Le radier en venant ainsi le risque d'affoulement hydraulique aval.



10a © VVA

Le chantier (figure 1) a été organisé en 3 postes travaillant simultanément pour respecter le planning général de l'opération : travaux sur le barrage, travaux sur la passe à poissons et travaux sur le local technique.

Une grue à tour type GTMR et une grue mobile 35 t ont été utilisées.

Pour ce chantier, en moyenne 15 compagnons de Maia Sommier ont contribué à la réalisation de la reconstruction, encadrés par 2 chefs de chantier, 1 conducteur de travaux et 1 directeur de travaux.

**LE BARRAGE**

Le cœur du projet réside dans les 2 passes de boudruches gonflées à l'eau. Pour supporter cet ouvrage, un béton de masse faiblement armé a été coulé sur une épaisseur de 90 cm. Une bêche-parafouille a été créée en amont, encasturant le barrage dans le substratum rocheux et évitant ainsi

l'érosion interne. Les terrassements ont nécessité une attention particulière pour trouver une jonction propre entre le barrage existant et le barrage neuf. Par-dessus ce gros béton, le radier du barrage a été réalisé avec une géométrie spécifique liée à la boudruche (figures 10). De nombreux réseaux et inserts ont été incorporés tels que les rails qui régissent la membrane du BGE. En aval, le radier a été réalisé sur un complexe drainant, avec des événements communicant à la surface du barrage afin d'éliminer les éventuelles sous-pressions.

Le radier intègre également des réservoirs pour permettre la mise en place d'un batardeau en phase de maintenance.

Après réalisation du béton de lestage suivi des 800 m<sup>3</sup> de radier en 4 bêtages, la surface a été traitée par minéralisation pour une meilleure étanchéité du béton. Les 3 piles comprenant

**11a- Incorporation des éléments pendant la phase de ferrailage.**

**11b- Radier et pile en attente de réception de la boudruche.**

**11- Phase d'essai du BGE et des batardeaux de maintenance avant mise en service.**

**10a- Incorporation de matériaux during the reinforcement phase.**

**10b- Foundation raft and pier before receiving the bladder.**

**11- Tests on water-inflated dam and maintenance before entry into service.**

également les rails d'ancrage de la boudruche ont ensuite été ferrailés, coffrés et bétonnés. La pile P1 a été mariée à la pile existante conservée du barrage, le ferrailage de la pile neuve étant liaisonné à la pile existante par des scellements chimiques. Les boudruches de 8 t (par passe) ont été mises en place par les équipes de pose. Une fois le BGE en place, les essais à sec de son gonflage ont été réalisés avec un remplissage à 60% de sa hauteur nominale dans ces conditions, le montage n'étant pas dimensionné pour une capacité totale hors d'eau. Ces essais ont permis la vérification d'étanchéité et d'intégrité géométrique (piles) de la membrane. Les déflecteurs soudés par vulcanisation permettent d'aérer le jet sortant.

Les batardeaux de maintenance ont également fait l'objet d'essais pour vérifier les débits de fuite (figure 11). Il est à noter que les piles comportent des purges communiquant avec les boudruches pour évacuer la présence d'air, principalement due au phénomène de dégazage de l'eau. En hiver, des cycles de pompage dans la boudruche ont lieu pour créer une circulation et éviter le gel.

Une fois l'ensemble du génie civil réalisé et les différents équipements installés, l'automate du barrage paramétré et le barrage mis en service.

**LA PASSE À POISSONS**

Les radiers communs au local technique ont été réalisés dans un premier temps. Un drain périphérique a été mis en place provisoirement pour gérer les venues d'eau, canalisées vers un point bas et pompées. Par la suite les voiles, ronds et circulaires ont été installés.



12 © VVA

**12- Coffrage de la partie coulée en place des cloisons.**

**12- Formwork for the cast-in-situ part of the partitions.**

Afin de permettre aux espaces piscicoles de remonter la passe à poissons, des cloisons ont été mises en place créant des compartiments (figure 12). Les extrémités de ces cloisons ont été préfabriquées sur site avec des coffrages faits sur mesure, puis scellés dans le radier de la passe à poissons. Le mur entre les extrémités a été fabriqué coulé en place.

Enfin, un dalage en pente intégrant des enrochements légers couvre le fond de cette passe à poisson, ces macropores créent une rugosité qui réduit la vitesse du courant dans le fond de ce chenal permettant aux poissons les plus petits la remontée à l'amont de l'ouvrage. Des planches d'essai avec différents granulométries et arrangements ont été réalisés pour tester la capture d'espèces.

**PRINCIPALES QUANTITÉS**

- ENCAINTE EN PALPLANCHES : 69 t
- SURFACE DE LA PLATTEFORME DE TRAVAIL : 912 m<sup>2</sup>
- BÉTON ARMÉ : 1638 m<sup>3</sup>
- ARMATURES : 100 t
- SURFACE DE MEMBRANE : 500 m<sup>2</sup>

**PRINCIPAUX INTERVENANTS**

- MAÎTRE D'OUVRAGE : Voies Navigables de France
- MAÎTRE D'ŒUVRE : Ingérop Conseil/Ingénierie / Gens Ingénieurs Conseils
- ENTREPRISE : Maia Sommier
- FOURNITURE ET MISE EN ŒUVRE DES BGE (boudruches gonflées à l'eau) : Hydroconstruct

**RESTORATION OF VAUX DAM (80)**

P-PIERRE CHALIGNY, INGÉROP - P-PIERRE BOUGAUD, MAIA SOMMIER

The reconstruction of Vaux Dam forms part of a vast modernisation programme undertaken by the inland waterways authority (Voies Navigables de France (VNF) to replace "needle" type dams, which are ancient and dangerous to operate. The new dam, consisting of two channels 27.30 metres wide for a 2.05-metre drop, uses the principle of water-inflated closure devices, a concept that is not very widespread in France. Demolition and reconstruction of the dam and construction of a fishway were performed on a backfill platform in a sheet piling cofferdam. Over 10 months, the three jobs on the dam, the fishway and the equipment rooms) were carried out simultaneously. Dry tests and water tests on the dam and maintenance cofferdams validated the entry into service of the new structure.

**RESTAURACIÓN DE LA PRESA DE VAUX (89)**

P-PIERRE CHALIGNY, INGÉROP - P-PIERRE BOUGAUD, MAIA SOMMIER

La reconstrucción de la presa de Vaux se inscribe en un amplio programa de modernización lanzado por Voies Navigables de France (VNF) para sustituir las presas de tipo "con agujas", vetustas y peligrosas de operar. La nueva presa, formada por dos pasos de 27,30 m de ancho con una caída de 2,05 m, adopta el principio de las presas inflables con agua, concepto poco habitual en Francia. La demolición y la reconstrucción de la presa, así como la construcción de una escala de peces, se han llevado a cabo sobre una plataforma rellenada en una atalaya de tablas. Durante 10 meses, se han movilizado los tres talleres de la presa, de la escala de peces y de los locales técnicos. Las pruebas en seco y en agua de la presa y las atalayas de mantenimiento han validado la puesta en servicio de la nueva construcción.