



1
© CÉDRIC HELSLY

CONFORTEMENT DES BARRAGES DES ÉTANGS DE COROT, À VILLE-D'AVRAY (92)

AUTEUR : MARIANNE AGUIE, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY

LE GROUPEMENT CONSTITUÉ DE SOLETANCHE BACHY FRANCE (MANDATAIRE) ET DE FAYOLLE INTERVIENT DEPUIS L'AUTOMNE 2019 SUR LES ÉTANGS DE COROT, À VILLE-D'AVRAY, DANS LE CADRE DES TRAVAUX DE CONFORTEMENT DES DEUX BARRAGES DE CES ÉTANGS. LES TRAVAUX ONT CONSISTÉ, POUR CHAQUE BARRAGE, À RÉTABLIR LEUR ÉTANCHÉITÉ ET CRÉER UN DÉVERSOIR DE SÉCURITÉ. LES ÉCRANS ÉTANCHES ONT ÉTÉ RÉALISÉS AVEC LE PROCÉDÉ TRENCHMIX® PAR VOIE HUMIDE.

CONTEXTE GÉNÉRAL

Les Étangs de Corot, situés à Ville d'Avray (figure 1), ont été rendus célèbres par les nombreuses représentations qui en ont été faites par le peintre Camille Corot au cours du XIX^e siècle. Ils sont au nombre de deux : le Vieil Étang, en amont, d'une superficie d'environ 1 ha ; et l'Étang Neuf, en aval, d'une superficie d'environ 3 ha. Chacun est retenu par une digue en remblai. Constitués au XVII^e puis au XIX^e siècle, ils alimentent le réseau hydraulique gravitaire des fontaines et cascades du domaine de Saint-Cloud. Le Centre des Monuments Nationaux, après avoir reçu en dotation la gestion de ces étangs en 2015, a fait réaliser

en 2016 et 2017 un diagnostic des deux ouvrages. Ce diagnostic a mis en lumière la nécessité de travaux de confortement pérenne des deux barrages. Des défauts d'étanchéité des barrages avaient entraîné des fontis ayant nécessité des travaux d'urgence et, d'autre part, les ouvrages de vidanges et de surverse étaient sous-dimensionnés.

Sous maîtrise d'œuvre Artelia Eau et Environnement, le groupement constitué de Soletanche Bachy (mandataire) et de l'Entreprise de Travaux Fayolle et Fils a été désigné pour les travaux du lot 1 : vidange et ouvrages de génie civil. Les travaux se déroulent, pour chaque barrage, selon les étapes suivantes :

1- Vue d'ensemble lors des travaux du Vieil Étang.

1- General view during work on the Vieil Étang pond.

- 1-** L'étang en amont du barrage est vidangé. En parallèle, une pêche de sauvegarde permet de basculer la population piscicole d'un étang à l'autre.
- 2-** Une fois l'étang vidangé, le rejointoiement du perré ou du mur constituant l'amont du barrage peut être fait.

- 3-** En parallèle, un nouvel écran étanche est créé à travers le barrage, sur tout son linéaire (figure 2).
- 4-** Tant que l'étang est à sec, les organes de manœuvres hydrauliques sont remplacés (vannerie, conduites). Cette étape conclut la phase des travaux dits "aquatiques", c'est-à-dire réalisés avec l'étang vidangé.
- 5-** La forme du déversoir est terrassée dans le corps du barrage, puis le radier du déversoir et les appuis de la future passerelle sont construits.
- 6-** La passerelle de franchissement du déversoir est posée et la voirie est reprise sur le reste de la crête de barrage.



2- Trenchmix®, rejointoiement et curage sur le Vieil Étang.

3- Vue d'ensemble lors des travaux de l'Étang Neuf.

4- Trenchmix® en cours sur l'Étang Neuf.

2- Trenchmix®, rebrickwork and cleansing on the Vieil Étang pond.

3- General view during work on the Étang Neuf pond.

4- Trenchmix® in progress on the Étang Neuf pond.



Deux contraintes ont façonné le planning de l'opération : les travaux aquatiques (c'est-à-dire les travaux avec étang vidé de curage, rejointoiement, écran étanche, remplacement des organes de régulation) ne pouvaient être réalisés qu'entre septembre et février et un seul étang pouvait être vidangé à la fois, la population piscicole devant pouvoir être basculée sur l'autre étang (figure 3). Ainsi, les travaux sur le barrage amont ont eu lieu entre octobre 2019 et décembre 2020, avec des travaux aquatiques entre octobre 2019 et février 2020 et les travaux sur le barrage aval ont démarré en août 2020 pour des travaux aquatiques entre septembre 2020 et février 2021.

Les travaux de Soletanche Bachy France ont consisté à créer un nouvel écran étanche à travers chaque barrage (figure 4), par la méthode de Trenchmix® par voie humide. Pour chaque barrage, une conduite de fond traversant l'ouvrage était présente, constituant un point singulier à traiter spécifiquement dans l'écran étanche. Les travaux étant réalisés dans un site remarquable, du point de vue du paysage et de la biodiversité, des mesures environnementales ont été mises en œuvre au cours du chantier, afin de minimiser l'impact des travaux sur le milieu naturel.

RÉALISATION DES ÉCRANS ÉTANCHES

Dans les deux barrages, un écran ou noyau étanche préexistait, mais se révélait insuffisant pour assurer la fonction d'ouvrage d'étanchéité, comme en ont témoigné les désordres intervenus sur les crêtes des barrages.



Pour chacun, il était donc nécessaire de créer un nouvel écran étanche sur le linéaire complet du barrage, soit environ 120 m pour chaque écran. Les écrans devaient :

- Avoir une épaisseur minimale de 40 cm ;
- S'ancrer dans la couche des Alluvions, sauf au droit des points singuliers, où une profondeur plus importante était exigée ;
- Présenter une perméabilité inférieure à 10^{-8} m/s.

Au préalable des travaux, des reconnaissances géotechniques et des études de stabilité des barrages sous chargement des engins de chantier ont été effectuées.

RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES

La stratigraphie donnée par le rapport de mission G2-PRO était la suivante :

- Barrage du Vieil Étang :
 - Remblais sur 5 à 6 m d'épaisseur ;
 - Alluvions indifférenciées jusqu'à la fin des sondages à 11 m ;
- Barrage de l'Étang Neuf :
 - Remblais sur 7 à 8 m d'épaisseur ;
 - Alluvions indifférenciées sur 1 à 2 m d'épaisseur ;
 - Marnes indifférenciées jusqu'à la fin des sondages à 11 m.

Les campagnes de reconnaissances complémentaires avaient pour objectifs de confirmer la cote de la base des remblais sur le linéaire de chaque écran, afin d'en fixer la profondeur ; de poser des piézomètres pour le suivi du fonctionnement des ouvrages ; et pour le barrage de l'Étang Neuf, de réaliser des prélèvements intacts carottés afin de réaliser des essais laboratoires

5- Trancheuse.
6- Principe de réalisation d'un écran en Trenchmix®.

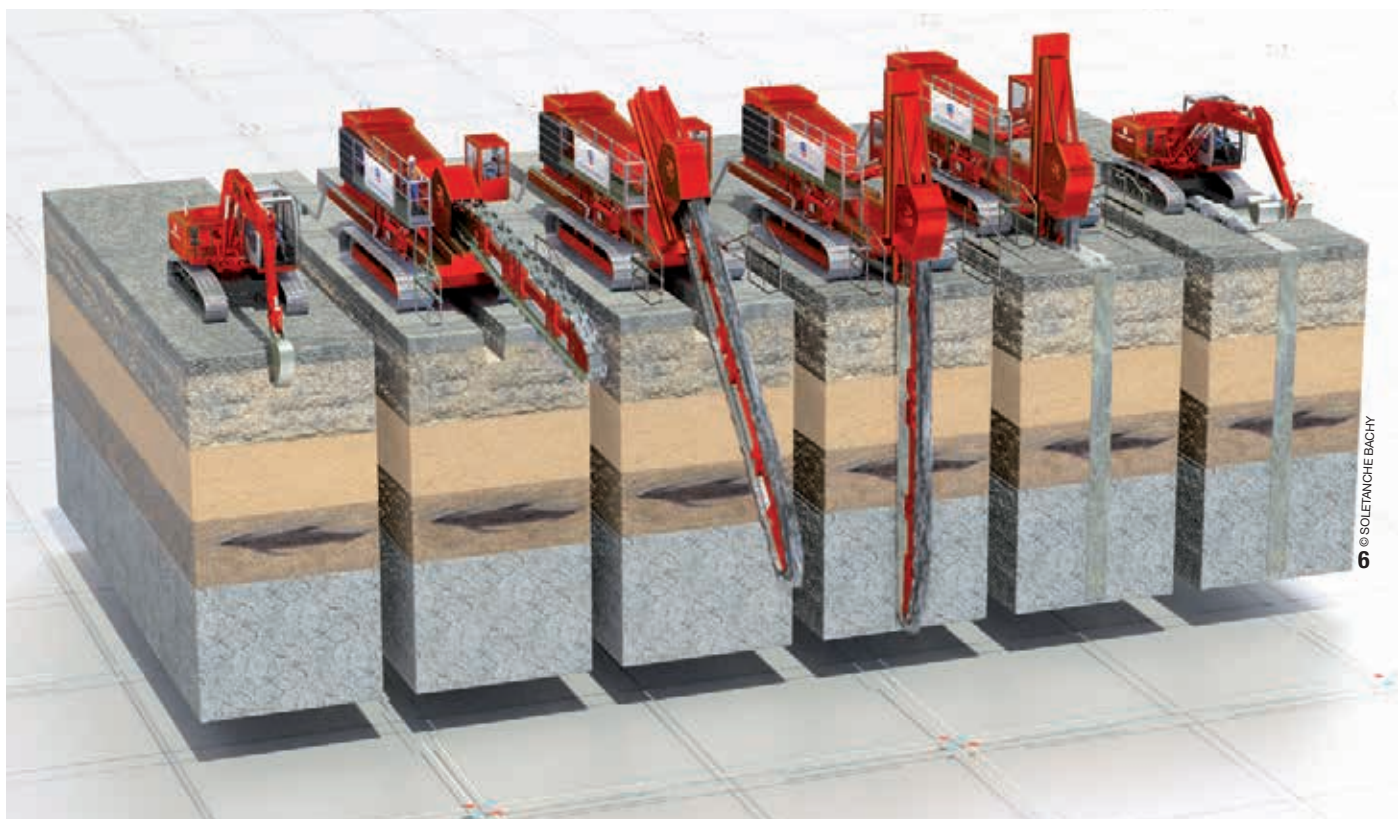
5- Trencher.
6- Technique for barrier execution by Trenchmix®.

et de déterminer les caractéristiques intrinsèques c' et ϕ' des terrains en place, pour les besoins des calculs de vérification de stabilité.

Chaque campagne s'est déroulée au démarrage des travaux sur le barrage concerné, les sondages ont été effectués par le sous-traitant Geotec. Ils ont permis de fixer la profondeur des écrans, soit :



5 © CEDRIC HELSLY



6 © SOLETANCHE BACHY

- À 7 m pour l'écran amont, sauf au droit des ouvrages de régulation où il a été approfondi à 8 m ;
- Entre 7 m et 9,5 m pour l'écran aval, les profondeurs variant en suivant le profil de la base des remblais.

ÉTUDES DE STABILITÉ

Pour chaque barrage, une étude de la stabilité globale de l'ouvrage sous le chargement de la trancheuse a été effectuée, cette dernière pesant 54 t. Sur les coupes les plus défavorables de chaque barrage, les calculs de stabilité des talus ont été menés avec le logiciel Talren, en utilisant le jeu de coefficients proposés dans les "Recommandations pour la justification des barrages et des digues en remblai" du CFBR (2015). Les calculs ont été réalisés en configuration étang plein et étang vide. Dans tous les cas ils ont permis de confirmer que l'ajout de la surcharge de la trancheuse n'avait pas d'impact sur le coefficient de sécurité globale.

TRAVAUX D'ÉCRANS ÉTANCHES

Une fois les campagnes de reconnaissance et les vérifications de stabilité faites, les travaux d'écrans étanches ont pu suivre.

Le Trenchmix® par voie humide est une technique de soilmixing, qui consiste à malaxer le sol en place au moyen d'une trancheuse, en injectant par la lame un coulis de bentonite-ciment fabriqué sur chantier dans une centrale (figures 5 et 6).



7 © CEDRIC HELSLY

7- Vue rapprochée du Trenchmix® en cours.

8- Fouille blindée en palfeuilles sur l'Étang Neuf.

7- Close-up view of Trenchmix® in progress.

8- Excavation with lining of sheet piles on the Étang Neuf pond.

Cette technique présente l'avantage de produire peu de déblais en comparaison à d'autres méthodes (jet grouting, paroi au coulis), et fiabilise la qualité de la continuité de l'écran et son homogénéité (figure 7). Elle présente également l'avantage d'une exécution rapide : chaque écran a pu être terminé en moins d'une semaine.

Dans un premier temps, une prétranchée au droit de l'écran à construire est creusée, afin de contenir une partie des déblais produits par le Trenchmix®. La machine est ensuite mise en place au début de l'écran : les premiers mètres d'écran permettent de calibrer

les paramètres de la machine (vitesse d'avancement, vitesse de la chaîne, débit d'injection) afin d'assurer le bon taux d'incorporation de coulis dans le sol. La production suit son cours : si l'écran doit être interrompu en raison de la fin du poste, un remordu dans le sol-ciment frais est assuré le lendemain pour assurer la continuité de l'écran. Au droit des points singuliers (conduites de fond ou de trop-plein des barrages), la lame est relevée pour passer les obstacles, puis rabaisée à la profondeur souhaitée. Les points singuliers ont fait l'objet d'un traitement distinct, détaillé dans le paragraphe suivant.

À la fin de l'écran, les déblais restants en tête de l'écran sont curés et évacués.

TRAITEMENT DES POINTS SINGULIERS À TRAVERS LES ÉCRANS ÉTANCHES

Sur chaque barrage, la présence de conduites traversant l'ouvrage a nécessité un traitement spécifique pour assurer la continuité de l'écran sans endommager les conduites.

Pour les deux barrages, le traitement des points singuliers était prévu avec des colonnes de jet grouting, réalisées de part et d'autre de chaque conduite en l'évitant, et respectant un écran inscrit de 40 cm au minimum : cela était possible pour une conduite prévue en diamètre 800 mm à 5 m de profondeur pour le barrage amont, et une conduite prévue en diamètre 400 mm à 6,50 m pour le barrage aval. ▷



8 © LYBELLUJE

Lors des études d'exécution et la préparation des travaux sur le barrage amont, il a été constaté que l'obstacle à franchir n'était pas une conduite \varnothing 800 mais une galerie maçonnée, d'au moins 2 m de largeur à l'extrados, contenant une conduite \varnothing 250. En conséquence, le diamètre des colonnes de jet grouting à réaliser pour assurer un écran inscrit de 40 cm malgré cet obstacle devenait tel que la méthode ne pouvait pas être envisagée sans un risque important de déstabiliser le barrage en raison des pressions à mettre en œuvre. En conséquent, la méthodologie a été adaptée de la façon suivante :

- 1- Une fouille blindée en palpeilles a été ouverte au droit de l'intersection de la galerie et du futur écran étanche, avant le passage de la trancheuse. La galerie a été démolie et tamponnée, ainsi que la conduite, de part et d'autre de la trace de l'écran. Ces travaux ont été sous-traités à Sogea.
 - 2- La fouille a été remblayée, puis la trancheuse est passée entre les deux sections de conduite/galerie.
 - 3- Une fois l'écran terminé, la même fouille a été ouverte une deuxième fois : la continuité de la conduite de fond a été rétablie et la fouille remblayée au coulis afin d'assurer la continuité de l'écran d'étanchéité.
- Sur le barrage aval, l'obstacle était bien celui prévu : une conduite \varnothing 400. Cependant elle a cédé pendant la réalisation du jet grouting, son état de dégradation étant trop avancé pour supporter le jet malgré la pression réduite mise en œuvre. Une fouille blindée a donc été ouverte sur le barrage aval également, afin de procéder au remplacement de la conduite de fond par une conduite de diamètre supérieur à l'issue des travaux d'écran étanche (figure 8). Comme à l'amont, cette fouille a ensuite été remblayée au coulis pour assurer la continuité de l'étanchéité dans le barrage.



© CEDRIC HELSLY

DES TRAVAUX À FORTÉ DIMENSION ENVIRONNEMENTALE

En raison du contexte environnemental autour du chantier, plusieurs mesures de réduction de l'impact du chantier, prescrites par l'écologue du projet notamment, ont été mises en œuvre :

- Avant la vidange de chaque étang, l'ensemble de la faune piscicole a été déplacée dans l'autre étang, encore en eau, à l'occasion d'une pêche de sauvegarde. Au cours de cette pêche, les espèces invasives identifiées dans les étangs (silure glane, poisson-chat et écrevisse de Louisiane) ont été triées et retirées.
- Une barrière anti-amphibiens a été déployée autour des étangs, afin d'éviter le retour des amphibiens vers l'étang à sec à l'issue de leur hibernation.
- Les arbres devant être abattus pour le projet ont été inspectés au préalable, afin de vérifier la présence ou non de cavités abritant potentiellement des chiroptères. La procédure d'abattage prévoyait ensuite de

9- Installations
de chantier.

9- Site
facilities.

laisser un temps d'attente, afin que les éventuels occupants des cavités puissent s'échapper.
→ Les installations de chantier les plus imposantes ont été peintes pour les besoins de ce chantier, afin de limiter l'impact visuel de ces dernières (figure 9). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

ÉCRAN TRENCHMIX® : 848 m² et 1 044 m²

COLONNES DE JET GROUTING : 4 colonnes de 10 m de profondeur, en diamètre 1,3 m

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Centre des Monuments Nationaux

MAÎTRE D'ŒUVRE : Artelia Eau & Environnement

GÉOTECHNICIEN : Terrasol

ÉCOLOGUE : Eodd

BUREAU DE CONTRÔLE : Bureau Veritas

OPC : Sctb

ENTREPRISES TRAVAUX : groupement Soletanche Bachy France (mandataire) / Fayolle

ABSTRACT

CONSOLIDATION OF THE COROT POND DAMS, AT VILLE-D'AVRAY (92)

MARIANNE AGUIE, SOLETANCHE BACHY

As part of the consolidation works for the two Corot pond dams at Ville-d'Avray, the consortium formed by Soletanche Bachy France (leader) and Fayolle has performed grout curtain and civil engineering work since the autumn of 2019. Two grout curtains have been executed on the dams, using the wet-path Trenchmix® method, which allowed continuous barriers to be created while producing little excavated material, complying with the contract permeability criteria and with high production rates. □

REFUERZO DE LAS PRESAS DE LOS ESTANQUES DE COROT, EN VILLE-D'AVRAY (92)

MARIANNE AGUIE, SOLETANCHE BACHY

En el marco de las obras de refuerzo de las dos presas de los estanques de Corot, en Ville-d'Avray, el consorcio formado por Soletanche Bachy France (representante) y Fayolle ha intervenido en las obras de una pantalla estanca y en la ingeniería civil desde otoño de 2019. Se han realizado dos pantallas estancas en las presas utilizando el método del Trenchmix® por vía húmeda, lo que ha permitido crear pantallas continuas con escasa producción de escombros, respetando los criterios de permeabilidad del contrato y sus intensos ritmos de ejecución. □