



© F. HENRY - AUTEURS DE VUES

CASIERS DE STOCKAGE DE SÉDIMENTS EN GABIONS SUR LE BARRAGE DE VEZINS - (50)

AUTEUR : ALEXANDRE PLASTRE, DIRECTEUR TECHNIQUE, FRANCE MACCAFERRI

LA VIDANGE DE LA RETENUE DE VEZINS (50) SUR LE FLEUVE SÉLUNE EST D'UNE IMPORTANCE MAJEURE DANS LE CADRE DE L'EFFACEMENT DES BARRAGES DE VEZINS ET DE LA-ROCHE-QUI-BOIT. LORS DE CETTE OPÉRATION, LE RISQUE DE TRANSPORT DE SÉDIMENTS EST ÉLEVÉ, LES MATÉRIAUX ÉTANT ALORS SENSIBLES À UNE CRUE BRUSQUE DU COURS D'EAU. ET QUAND L'EMBOUCHURE DU FLEUVE S'APPELLE LA BAIE DU MONT SAINT MICHEL, LA SENSIBILITÉ ENVIRONNEMENTALE EST EXTRÊME. POUR ÉVITER QUE CE PHÉNOMÈNE NE SE PRODUISE LORS DE LA VIDANGE DU BARRAGE, UN VASTE PLAN DE GESTION SÉDIMENTAIRE A ÉTÉ ÉLABORÉ COMPRENANT LA CRÉATION DE CASIERS DE STOCKAGES EN GABIONS DANS LE COURS DE LA SÉLUNE ET DE SON AFFLUENT L'YVRANDE.

CADRE DE L'OPÉRATION

La Sélune est un fleuve côtier du département de la Manche dont l'embouchure se situe dans la baie du Mont-St-Michel. Après la première guerre mondiale, deux barrages sont

construits successivement, celui de La-Roche-Qui-Boit, d'une hauteur de 15 m en 1919 et celui de Vezins, en amont, d'une hauteur de 36 m en 1932 (figure 2). Ces barrages permettent la production d'électricité et leurs

**1- Casier 7.1
rempli de
sédiments.**

**1- Compart-
ment 7.1 filled
with sediment.**

plans d'eau respectifs contribuent au tourisme local. Cependant, leur impact environnemental est contesté depuis de nombreuses années, car ils ne permettent pas à plusieurs espèces de poissons migrateurs (saumons,



truites, anguilles...) de remonter vers la source. En 2009, la décision de détruire les deux barrages est prise pour que la Sélune puisse reprendre sa valeur écologique. Après plusieurs années de concertations publiques, de réflexions sur la mise en place de solutions alternatives, la décision de l'effacement est validée par le ministre de la transition écologique et solidaire Nicolas Hulot en novembre 2017.

Ce projet nécessite la mise en place d'une gestion sédimentaire réfléchie, nécessitant de nombreuses étapes et tenant compte d'un historique douloureux.

Les statistiques sont parfois cruelles. La probabilité d'avoir une crue majeure d'une rivière pendant la mise à sec d'un barrage est faible. Et pourtant, en

2- Plan de situation.

3- Principe de stockage des sédiments dans l'Yvrande.

4- Principe de stockage des sédiments dans le cours de la Sélune.

2- Location drawing.

3- Schematic of sediment storage in the Yvrande.

4- Schematic of sediment storage in the course of the Sélune.

1993, lors de la vidange du barrage de La-Roche-qui-Boit (situé à quelques kilomètres en aval du barrage de Vezins), pendant la période d'assec, une crue d'une durée de 7 jours a eu lieu, entraînant près de 120 000 t de matériaux en aval. Ces matériaux déposés au fil du temps sont très fins et facilement érodables et n'ont pas la capacité à résister à des vitesses d'écoulement importantes. En fonctionnement normal, ils sont disposés au fond de la retenue et sont quasi insensibles aux variations de débit dans le cours d'eau. Mais lors de la période d'assec, les sédiments sont directement soumis aux écoulements et aux contraintes générées par une crue. Un anéantissement total des peuplements piscicoles jusqu'à la baie du Mont

Saint-Michel a été observé. Riverains et élus dénonçaient alors une "rivière morte", "transformée en égouts". Depuis, aucune vidange n'a été effectuée et un nettoyage de la rivière en aval avait du être réalisé pour compenser les impacts importants sur le plan environnemental.

Pour éviter une telle catastrophe écologique, la première étape de ce vaste projet d'effacement des barrages consiste à préparer la vidange du barrage de Vezins en adoptant une gestion sédimentaire adaptée au site. En effet près de 2 000 000 m³ de matériaux se sont déposés dans les retenues depuis leur création dont 560 000 m³ de matériaux potentiellement mobilisables dans le lit mineur de la Sélune et 140 000 m³ situés dans les lits mineurs de ses affluents - Yvrande, Lair et Isolant -. En outre, les sédiments présents dans le lit de l'Yvrande ont subi une contamination par des métaux lourds, nécessitant un traitement particulier (source : DDTM de la Manche).

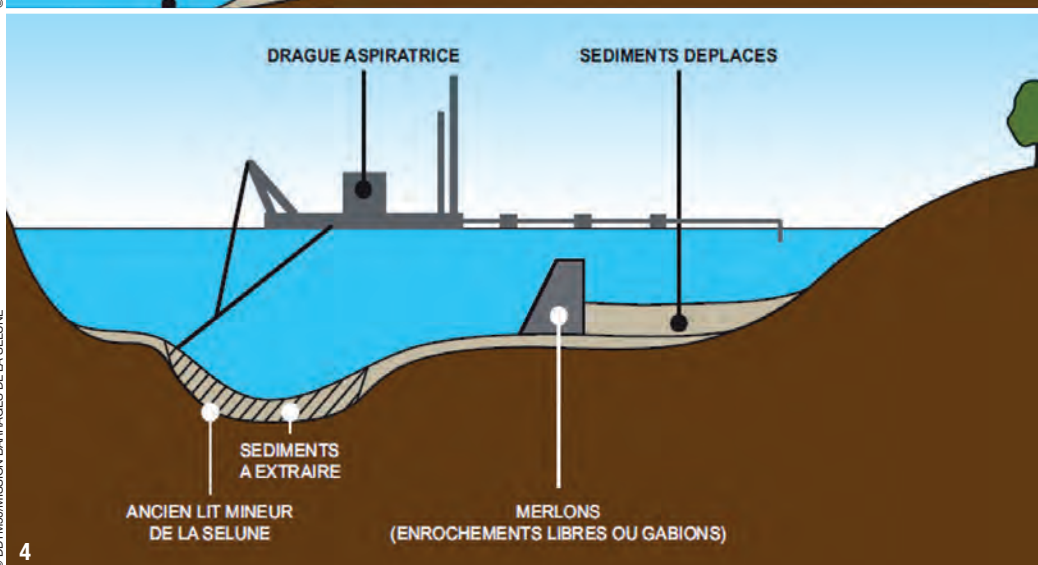
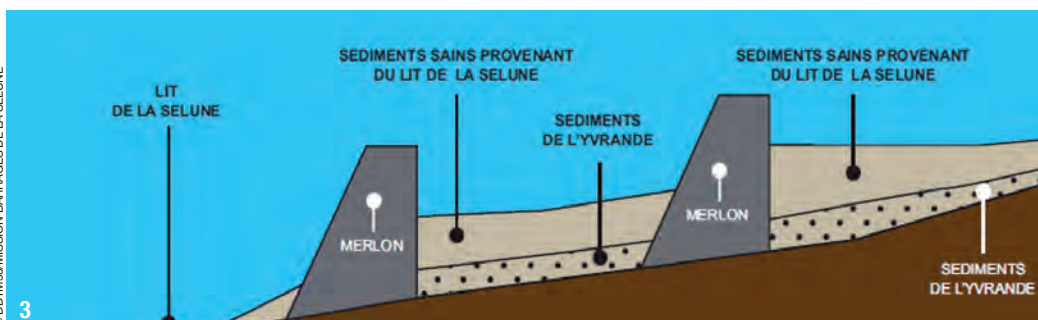
L'État, représenté par le Préfet de la Manche a choisi Antea Group pour mener à bien la conception de l'aménagement destiné à retenir les sédiments et éviter une contamination à l'aval. En partie terrestre, le choix s'est porté vers un curage des matériaux par des pelles mécaniques, les matériaux extraits étant stockés dans des casiers dont les digues périphériques sont constituées de matériaux du site.

Pour la partie fluviale, un dragage des sédiments a été retenu. Suivant la nature des sédiments (contaminés ou non), deux techniques ont été utilisées :
→ Le stockage des matériaux contaminés dans des tubes géotextiles ;
→ Le stockage des sédiments non contaminés dans des casiers "sous-eau" situés dans la retenue. Ces casiers sont réalisés avec des gabions préremplis.

L'article s'intéresse plus particulièrement à cette deuxième solution qui était une grande première en France et, selon nos connaissances à date de rédaction, dans le monde.

ÉTUDES TECHNIQUES

Les casiers de stockage en gabions ont été implantés dans l'Yvrande (affluent de la Sélune en amont du barrage de Vezin) et de la Sélune. Pour l'Yvrande, ces casiers ont été positionnés sur quasiment toute la largeur du lit de la rivière de façon à pouvoir stocker un gros volume de matériaux tout en laissant une section hydraulique pour l'écoulement (figure 3).



Pour la Sélune, les casiers ont été disposés le long des berges dans le futur lit majeur de la rivière. Le lit mineur est reconstitué par un curage du fond du lit et les matériaux extraits sont placés dans les casiers (figure 4). À terme, les casiers seront démontés en enlevant les gabions.

Le marché de travaux a été attribué à un groupement d'entreprises du groupe Vinci qui s'est appuyé sur l'expertise de la société France Maccaferri pour le dimensionnement de la digue en gabions sous-fluviale. La possibilité de préremplir les gabions sur berge puis de les disposer à leur emplacement final par des moyens de levage et de manutention adaptés a convaincu le maître d'œuvre en phase projet comme étant la solution technique la plus fiable pour ériger un mur de 4 m de hauteur maximum à plus de 10 m de profondeur. La géométrie de l'ouvrage a été déterminée en considérant plusieurs scénarios correspondant à des phases bien précises de l'avancement du projet. Au moment de l'installation, le mur en gabions est disposé sous l'eau sans qu'il n'y ait de sédiments de part et d'autre des cages. Lors du dragage des sédiments, l'eau stockée dans la digue se charge en sédiments et exerce une poussée plus importante à l'amont qu'à l'aval. Au fur et à mesure des opérations de vidange, le plan d'eau baisse et les sédiments s'accumulent, exerçant une pression de plus en plus importante sur l'ouvrage. Enfin, le niveau d'eau est complètement baissé et les sédiments atteignent leur densité maximale. Après analyse de ces différentes phases, deux situations critiques sont vérifiées, l'une en phase transitoire lorsque le niveau d'eau est baissé jusqu'à l'arase supérieure de l'ouvrage et l'autre à long terme lorsque les sédiments se sont consolidés et qu'un niveau d'eau est toujours présent dans le casier.

Le tableau A récapitule les hypothèses géotechniques ayant été considérées pour vérifier la stabilité de l'ouvrage aux différentes étapes énoncées ci-dessus. En fondation, les sols rencontrés sont constitués d'une couverture en matériaux organiques (profondeur variable comprise entre 0,10 et 0,80 m) reposant sur des limons silteux ayant une épaisseur variant de 1 à 5 m. Ces matériaux peu porteurs nécessitent une amélioration dans leur frange supérieure sur 3 m d'épaisseur environ. Initialement le maître d'œuvre s'était orienté vers une solution de substitution des matériaux, opération très délicate à réaliser sous près de 10 m d'eau.

TABLEAU A : HYPOTHÈSES DE CALCUL
POUR LES ANALYSES DE STABILITÉ DU MUR

Configuration de calcul	Remplissage du casier	Vidange avancée, sédimentation des matériaux
Type de situation	Transitoire	Long terme
Poids des sédiments	13 kN/m ³	16 kN/m ³
Angle de frottement des sédiments	0° (liquide)	28°
Cohésion des sédiments	0 kPa	0 kPa
Niveau d'eau amont	Arase supérieure du gabion	Arase supérieure du gabion
Niveau d'eau aval	50 cm sous le niveau de l'arase supérieure du gabion	Base du gabion

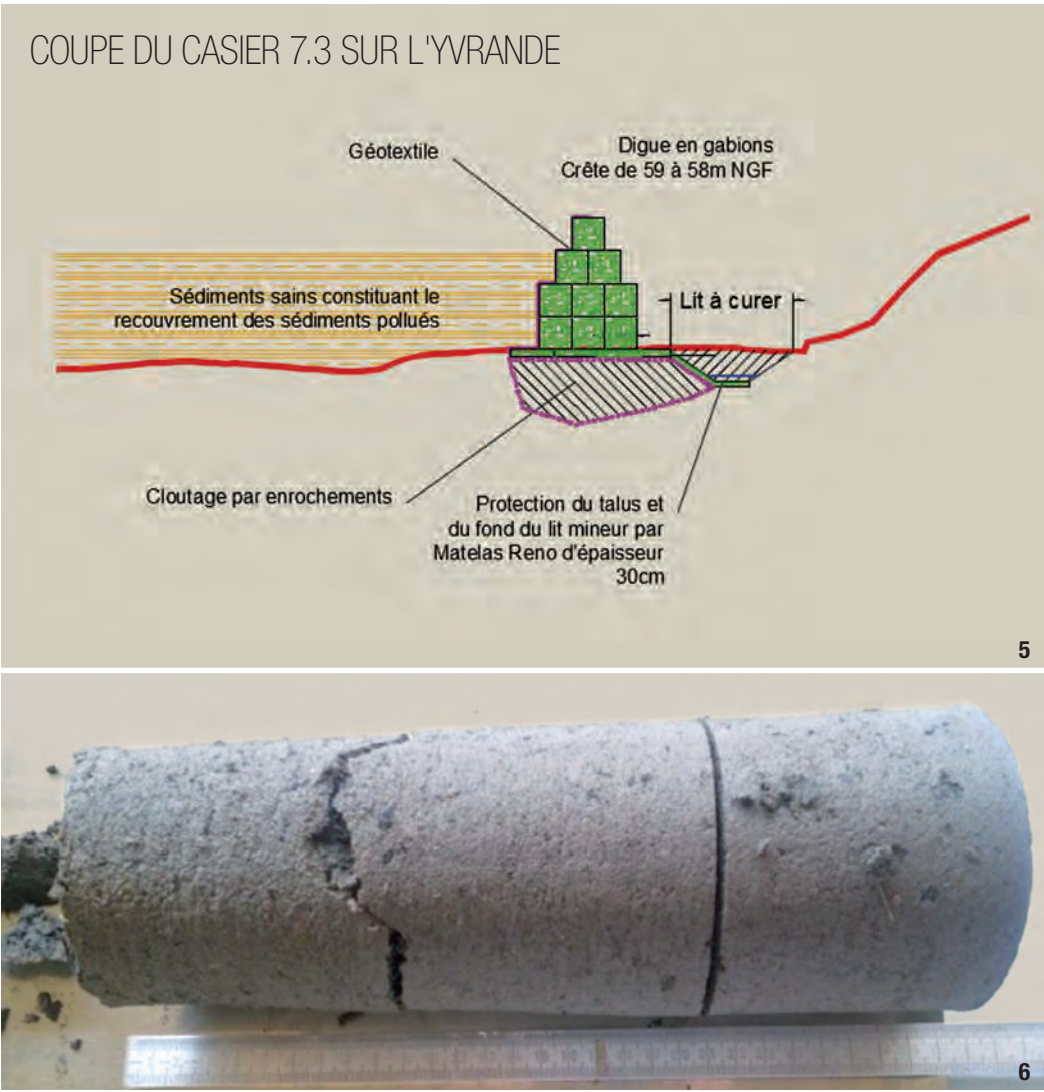
Le choix de l'entreprise s'est porté vers un "cloutage" du sol de fondation en poinçonnant des blocs d'enrochements dans le fond de la retenue. Sur les enrochements, pour assurer une assise plane et homogène au mur, des matelas Reno® préremplis sur berge ont été disposés, servant de base

au mur en gabions. Pour assurer la stabilité du mur, une base de gabions de 3 m a été mise en œuvre sur un tapis en matelas Reno® de 6 m (figure 5). Les gabions étant perméables, ils ne permettent pas à eux seuls de confiner les matériaux fins présents dans les casiers. Pour se faire, un géotextile

de filtration a été spécialement testé pour retenir les sédiments dans les casiers. La sélection du géotextile s'est faite à l'issue d'un dimensionnement théorique en se basant sur le fascicule filtration/drainage du Comité Français des Géosynthétiques. Le géotextile non tissé Mactex® N35.1 de 180 g/m² et

5- Coupe du casier 7.3 sur l'Yvrande.
6- Carotte de sédiment après l'essai de filtration en laboratoire.

5- Cross section of compartment 7.3 on the Yvrande.
6- Core sample of sediment after filtration test in laboratory.



© FRANCE MACCAFERRI

© IRSTEA AIX EN PROVENCE



© FRANCE MACCAFERRI

7

d'ouverture de filtration de 65 μ m a été choisi. Cependant, les sédiments dragués sur le chantier sont floculés pour augmenter leur séchage dans la retenue et le comportement réel à l'interface géotextile/boue floculée a été étudiée plus finement par l'intermédiaire d'un test de filtration sous pression qui consiste à faire passer un mélange fluide/solide à travers un filtre. Les particules sont retenues par le filtre, elles forment alors une croûte de filtration dont l'épaisseur croît au cours de la filtration. Cette croûte devient le réel élément filtrant, le géotextile n'étant que le support de la croûte. L'assèchement de la boue ne dépend alors plus du géotextile mais de la boue elle-même (figure 6).

Les essais ont été menés au laboratoire d'Irstea à Aix en Provence, en prélevant des échantillons dans le cours de la Sélune et en utilisant les floculants utilisés sur chantier.

L'essai a été particulièrement probant avec une efficacité de filtration du

- 7- Installation des gabions.**
- 8- Casier 7.2 sur l'Yvrande - Plan d'eau à 56 m.**
- 9- Casier 7.2 sur l'Yvrande - Plan d'eau à 54 m.**

- 7- Installing gabions.**
- 8- Compartment 7.2 on the Yvrande - Water level at 56 m.**
- 9- Compartment 7.2 on the Yvrande - Water level at 54 m.**

sédiment floculé de plus de 99,8 % et un filtrat recueilli présentant une concentration en particules solides de 0,7 g/l au maximum, ce qui correspond à 2 fois le résidu à sec de l'eau de ville. Une récente communication de Sébastien Bourghès-Gastaud (France

Maccaferri), Jérémie Marmuse (Antea Group) et Guillaume Stoltz (Irstea) aux rencontres Géosynthétiques 2019 de Nancy détaille le sujet.

SELECTION DES GABIONS

Les gabions double torsion fêtent cette année leur 140^e anniversaire avec, rappelons-le, une première utilisation en milieu hydraulique pour protéger les berges du fleuve Reno à Bologne contre les crues. À cette époque le gabion n'était pas aussi développé que maintenant, puisque le fil était en acier doux non revêtu, les accessoires de montage n'existaient pas et la résistance du grillage était plus faible. Mais le potentiel de ce produit était immense, en améliorant les outils de production, la qualité des matériaux utilisés, et les accessoires utilisés pour leur montage. Dans le contexte du chantier avec un site subaquatique, France Maccaferri a sélectionné une solution en gabions préremplis en mesure de répondre aux contraintes suivantes :

- Manutention des cages de 1 m d'épaisseur ;
 - Durée de service de 100 ans pour les gabions installés dans le lit de l'Yvrande et de 10 ans pour les gabions placés dans le lit de la Sélune (démontage des casiers prévu à terme).
- Pour résister aux opérations de manutention, les fils de gabions de 1 m d'épaisseur doivent présenter un diamètre de fil plus important que ceux mis en œuvre in situ, le diamètre passant de 2,7 mm à 3,9 mm (section du fil multipliée par 2). Par ailleurs, pour atteindre une durée de vie de 100 ans, il est nécessaire de protéger les fils d'aciers d'une protection métallique en alliage Zinc/Aluminium et d'une gaine organique. Lors de la sortie de l'appel d'offre, aucun grillage double torsion ne pouvait être muni d'une gaine organique pour des fils de diamètre supérieur à 3,0 mm, le revêtement se fissurant lors de la torsade des fils dans la machine.



8

© DDTM50/MISSION BARRAGES DE LA SELUNE



9

© DDTM50/MISSION BARRAGES DE LA SELUNE



© DDTM50/MISSION BARRAGES DE LA SELUNE



© DDTM50/MISSION BARRAGES DE LA SELUNE

Après plusieurs mois d'essais en usine, un fil de diamètre 3,4 mm a été tissé avec un revêtement organique de type PA6 (Nylon) ayant une épaisseur de 0,8 mm sur le diamètre du fil. Des tests de remplissage et de manutention ont été passés avec succès pour une utilisation sur ce chantier hors norme.

MISE EN ŒUVRE

Les travaux de mise en œuvre des gabions et matelas Reno® ont démarré au début de l'été 2017 par les casiers dans l'Yvrande et ont été assurés par le groupement d'entreprises Vinci. Un atelier de pose a été préparé, constitué de deux barges servant à stocker les gabions et à supporter la grue utilisée pour l'installation des boîtes (figure 7). Des cages de matelas Reno® de 6x2x0,3 m et de gabions de 2x1x1 m ont été utilisées pour monter les casiers. Pour accélérer les cadences de pose, les gabions ont été regroupés par 3 unités, formant ainsi des blocs de 3x2x1 m, permettant de monter les rangs inférieurs rapidement. Un palonnier a été spécialement conçu pour lever les blocs avec des crochets au droit des sangles de levage insérés

dans les gabions. Une grue disposée sur une barge, ayant une capacité de levage de 100 t et une hauteur de levage de 69 m, a été utilisée pour mettre en place les blocs.

Des plongeurs ont participé au guidage des cages à leur emplacement final et ont ensuite disposé le géotextile de filtration à l'arrière des blocs.

DRAGAGE ET VIDANGE

Le plan d'eau a été abaissé progressivement de la cote 60,50 m aux côtes 56 m, puis 54 m et enfin à la cote 52 m permettant le démarrage du curage par voie terrestre. Les figures 8 à 11 illustrent l'abaissement du niveau d'eau dans l'Yvrande avec l'émergence des casiers et le remplissage progressif en sédiments. Les opérations de dragage ont débuté au cours de l'été 2017 et se sont terminées au printemps 2018 alors que les casiers dans la Sélune étaient encore immergés et que les casiers dans l'Yvrande étaient émergés (figure 1). Près de 175 000 m³ de sédiments ont ainsi été dragués et stockés dans les casiers de retenue en gabions. La poursuite de la vidange du barrage s'est opérée à l'été 2018 avec

10- Casier 7.2 sur l'Yvrande - Plan d'eau à 52 m.

11- Confluence de l'Yvrande et de la Sélune - casier 7.1 - Niveau à 52 m.

10- Compartiment 7.2 on the Yvrande - Water level at 52 m.

11- Confluence of the Yvrande and the Sélune - compartment 7.1 - Level at 52 m.

un abaissement du plan d'eau à la cote 42 m puis à l'automne 2018 pour atteindre la cote d'assez à 28 m. Durant ces périodes de vidange, un hydro-curage naturel de la Sélune en amont du barrage a eu lieu, redonnant son caractère naturel au cours d'eau. Par ailleurs, une pêche de récupération a été réalisée permettant de pêcher près de 13 t de poissons dont 50 % de silures. Un suivi de la qualité de l'eau a également été mis en place avec des mesures physico-chimiques régulières en amont et en aval des barrages de Vezin et de la Roche Qui Boit. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

GABIONS DOUBLE TORSION PRÉREMPLIS : 9 000 m³

MATELAS RENO® PRÉREMPLIS : 8 000 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : DDTM de la Manche

MAÎTRE D'ŒUVRE : Antea Group - Agence Idf-Centre-Normandie

ENTREPRISE : Groupe Vinci

ABSTRACT

SEDIMENT STORAGE COMPARTMENTS IN GABIONS ON THE VEZINS DAM

ALEXANDRE PLASTRE, MACCAFERRI

As part of the vast project for ecological restoration of the Sélune River by removing the Vezin and La-Roche-Qui-Boit dams, an initial stage has been completed by dewatering the dam's reservoir by creating storage compartments for earth and river sediments. The river compartments, of total capacity 175,000 cu. m, were executed by creating several peripheral dykes of prefilled gabions placed under water by means of barge-mounted cranes and divers. The dredging and drainage operations were carried out successfully, restoring a more natural appearance to the Sélune, pending further operations. □

DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO DE SEDIMENTOS EN GAVIONES EN LA PRESA DE VEZINS - (50)

ALEXANDRE PLASTRE, MACCAFERRI

En el marco de amplio proyecto de renaturización del río Sélune mediante la eliminación de las presas de Vezin y La-Roche-Qui-Boit, se ha llevado a cabo una primera etapa de secado del embalse de la presa y se han creado depósitos de almacenamiento de los sedimentos terrestres y fluviales. Los depósitos fluviales, con una capacidad total de 175.000 m³, se han realizado mediante varios diques periféricos de gaviones prellenados, dispuestos bajo el agua mediante grúas instaladas en barcas, con la ayuda de submarinistas. Las operaciones de dragado y vaciado han proseguido con éxito, dando al Sélune un aspecto más natural, a la espera de las siguientes operaciones. □