

# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX.** FREGATES FREMM - LIGNE D'ACCOSTAGE ET DE STATIONNEMENT A BREST. LA CIOTAT - PLATEFORME DE REPARATION POUR MEGA-YACHT. REMISE EN ETAT DE 2 BASSINS DE LA BASE NAVALE DE BREST. LE HAVRE PORT 2000 - PHASE 3. ILE D'OLERON : LE PORT DE LA COTINIÈRE. RENOVATION DES ECLUSES DE MERICOURT (78). GRAND TORTUE AHMEYIM - PLEIN GAZ SUR LA MAURITANIE ET LE SENEGAL. BARRAGE DE VAUX (89). BARRAGES DES ETANGS DE COROT (92)

N° 971 SEPTEMBRE 2021



POSE DE CÂBLES  
SOUS-MARINS  
© SETEC IN VIVO

**LES TRAVAUX  
PUBLICS**  
FÉDÉRATION  
NATIONALE

# Toujours assez d'espace à l'arrière

## Les pelles compactes sur pneus

Les pelles hydrauliques de notre série Compact sont vos partenaires sur les chantiers où l'espace est limité. Flexibles et dynamiques, elles permettent un travail productif et intuitif grâce à des technologies innovantes. Même quand il n'y a pas beaucoup de place. [www.liebherr.com](http://www.liebherr.com)

# LIEBHERR

Pelles sur pneus



Liebherr-France SAS • 2, Avenue Joseph Rey, B.P. 90287 • 68005 Colmar Cedex • Phone +33 3 89 21 50 30  
info.fr@liebherr.com • [www.facebook.com/LiebherrConstruction](http://www.facebook.com/LiebherrConstruction) • [www.liebherr.com](http://www.liebherr.com)



Directeur de la publication  
Bruno Cavagné

Directeur délégué  
Rédacteur en chef  
Michel Morgenthaler  
3, rue de Berri - 75008 Paris  
Tél. +33 (0)1 44 13 31 03  
morgenthalerm@fntp.fr

**Comité de rédaction**

Erica Calatizzo (Systra), Jean-Bernard Datry (Setec), Olivier de Vriendt (Spie Batignolles), Denis Etienne (Bouygues), Philippe Gotteland (Fntp), Florent Imbert (Razel-Bec), Nicolas Law de Lauriston (Vinci), Romain Léonard (Demathieu Bard), Claude Le Quéré (Egis), Véronique Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Claude Servant (Eiffage), Nastaran Vivian (Artelia), Michel Morgenthaler (Fntp)

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction  
Monique Trancart (actualités),  
Marc Montagnon

**Service Abonnement et Vente**

Com et Com  
Service Abonnement TRAVAUX  
Bât. Copernic - 20 av. Edouard Herriot  
92350 Le Plessis-Robinson  
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22  
Fax +33 (0)1 40 94 22 32  
revue-travaux@cometcom.fr

France (9 numéros) : 190 € TTC  
International (9 numéros) : 240 €  
Enseignants (9 numéros) : 75 €  
Étudiants (9 numéros) : 50 €  
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)  
Multi-abonnement : prix dégressifs  
(nous consulter)

**Publicité**

Rive Média  
10, rue du Progrès - 93100 Montreuil  
Tél. : 01 41 63 10 30  
www.rive-media.fr

Directeur de clientèle  
Bertrand Cosson -  
b.cosson@rive-media.fr  
L.D. : 01 41 63 10 31

Site internet : [www.revue-travaux.com](http://www.revue-travaux.com)

**Édition déléguée**

Com'1 évidence  
2, chemin dit du Pressoir  
Le Plessis  
28350 Dampierre-sur-Avre  
Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52  
revuetravaux@com1evidence.com

La revue Travaux s'attache, pour l'information de ses lecteurs, à permettre l'expression de toutes les opinions scientifiques et techniques. Mais les articles sont publiés sous la responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se réserve le droit de refuser toute insertion, jugée contraire aux intérêts de la publication.

Tous droits de reproduction, adaptation, totale ou partielle, France et étranger, sous quelque forme que ce soit, sont expressément réservés (copyright by Travaux).

Ouvrage protégé : photocopie interdite, même partielle (loi du 11 mars 1957), qui constituerait contrefaçon (code pénal, article 425).

Éditions Science et Industrie SAS  
9, rue de Berri - 75008 Paris  
ISSN 0041-1906

# GRANDS TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX : LA RELANCE APRÈS LA CRISE ?



© DRF

En France, dopés par la transition énergétique, la prise de conscience des impacts du changement climatique et la nécessité de réduction des émissions de gaz à effet de serre par le transport de marchandises, les grands travaux maritimes et fluviaux pourraient bien sortir de la léthargie qui les touche depuis le début du 21<sup>e</sup> siècle.

En effet, si l'activité s'est poursuivie dans le domaine portuaire, comme le montre ce numéro, beaucoup de projets emblématiques se sont encaimés.

En dévoilant le 26 avril 2021, dix ans après le lancement des premiers appels d'offres, le nom des candidats admis à concourir pour développer et opérer le 8<sup>e</sup> parc éolien en mer français, d'une puissance potentielle record de l'ordre de 1 000 MW et implanté au large des côtes normandes, les pouvoirs publics ont tenté d'imprimer une nouvelle dynamique à la filière de l'éolien offshore qui, à l'exception d'un projet pilote au large du Croisic, n'a toujours pas branché ses éoliennes au réseau électrique. Les sept premiers parcs éoliens posés devraient être mis en service entre 2022 et 2027. Les premières fermes pilotes d'éolien flottant devraient commencer à fonctionner à partir de 2023.

Si, comme les autres énergies marines, les futures hydroliennes du Raz Blanchard, susceptibles de fournir une énergie prédictible, n'en sont encore qu'au stade de développements expérimentaux en attendant la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie pour 2024-2028, l'aménagement Manche-Gavet,

inauguré début octobre 2020, a montré que l'hydro-électricité savait se réinventer pour concilier ses objectifs énergétiques avec ceux de la protection de l'environnement et de la biodiversité. Par sa souplesse et les capacités de stockage qu'elle permet, cette énergie renouvelable, déjà très développée en France, peut encore offrir à l'avenir de très belles opportunités.

L'accélération de la montée du niveau des mers, comme l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes, obligent à s'interroger sur les protections du trait de côte et contre les inondations.

Fin 2020, le préfet de Seine-et-Marne a déclaré d'utilité publique le projet de casier pilote de la Bassée qui doit voir le jour en 2024. Porté par l'EPTB Seine Grands Lacs, et dans les cartons depuis plus de 20 ans, il constitue la première étape d'un projet de huit autres casiers écrêteurs devant être installés pour permettre de faire baisser le niveau de la Seine de 20 à 60 cm sur sa portion aval.

Les impacts de la fonte des glaces dans l'océan arctique, de la crise économique consécutive à la pandémie, des 2 accidents majeurs récents survenus sur des porte-conteneurs géants, sur le transport international de marchandises ne sont pas encore connus, mais d'ores et déjà il apparaît nécessaire de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

À l'échelle nationale cela passe par des reports modaux, en particulier vers la voie d'eau, décongestionnant en parallèle le réseau autoroutier. Attendu fin 2028, le canal Seine-Nord Europe constituera un maillon central de la liaison fluviale européenne à grand gabarit Seine-Escaut, reliant les bassins de la Seine et de l'Oise au réseau fluvial nord-européen à grand gabarit. Mais une meilleure gestion du fret passe aussi par le renforcement des équipements portuaires, des extensions de certains ports fluviaux, l'entretien, la régénération et la modernisation du réseau fluvial existant.

Baucoup d'espoirs, dont la concrétisation dépend de la volonté des pouvoirs publics et de la disponibilité des capacités de financement.

**CLAUDE BESSIERE**

EXPERT - ANCIEN DIRECTEUR INNOVATION  
DU GROUPE INGÉROP

LISTE DES ANNONCEURS : LIEBHERR, 2<sup>e</sup> DE COUVERTURE - PRO BTP, P.9 - BTP BANQUE, P.11 - SMA BTP, 3<sup>e</sup> DE COUVERTURE - MACCAFERRI, 4<sup>e</sup> DE COUVERTURE



# TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

CONFORTEMENT DES BARRAGES DES ETANGS DE COROT, A VILLE-D'AVRAY (82) © GÉBRIC HELSIKY



04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



**TRAMAF**  
PASSER AU VERT  
EST DEVENU UNE NÉCESSITÉ

**24 SETEC IN VIVO : QUAND LE GÉNIE CIVIL PRÉSERVE LE BIOTOPE MARIN**

**32 PORTS DE NORMANDIE : STRATÉGIE À L'ÉCHELLE DU DÉVELOPPEMENT DES EMR**



**FRÉGATES FREMM**  
Seconde ligne d'accostage  
et de stationnement au quai  
des Flottilles à Brest



**PLATEFORME  
DE RÉPARATION NAVALE  
POUR MÉGA-YACHT  
DE 4300 t**  
à La Ciotat



**BASE NAVALE DE BREST**  
Travaux de remise en état  
des aqueducs de vidange et  
de remplissage de 2 bassins



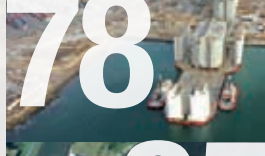
**LE HAVRE PORT 2000 -  
PHASE 3**  
Suite et fin d'un projet  
au long court



**ÎLE D'OLÉRON**  
Le port de la Cotinière  
s'offre un coup de jeune !



**RÉNOVATION  
ET ALLONGEMENT  
DES ÉCLUSES  
DE MÉRICOURT (78)**



**GRAND TORTUE  
AHMEYIM**  
Plein gaz sur la Mauritanie  
et le Sénégal



**RESTAURATION  
DU BARRAGE  
DE VAUX (89)**



**CONFORTEMENT  
DES BARRAGES DES  
ÉTANGS DE COROT**  
à Ville-d'Avray (92)



## UN PORT GAZIER EN MER OUVERTE POUR GRAND TORTUE ET AHMEYIM SUR LA FRONTIÈRE MAURITANIE/SÉNÉGAL

**Eiffage Génie Civil Marine**, pour le compte de BP, construit ce grand projet innovant de port en mer ouverte à 10 km des côtes, sur la frontière maritime mauritano-sénégalaise. L'ouvrage abritera le navire de stockage et de liquéfaction et les navires d'exportation du gaz extrait des champs offshore Grand Tortue et Ahmeyim. Formant une barrière de 1 150 m, 21 caissons de 16 000 t reposent sur une digue sous-marine de 2 500 000 t de matériaux de carrière extraits en Mauritanie à 275 km de Nouakchott. Les caissons sont préfabriqués à Dakar et remorqués sur 125 milles. La logistique terrestre et marine est imposante. (Voir article page 78).



© EIFFAGE





## LA CIOTAT SHIPYARDS S'ÉQUIPE POUR DES YACHTS DE 4300 TONNES

**Vinci Constructions Maritime et Fluvial**, mandataire d'un groupement de conception-réalisation dans lequel on trouve notamment Arcadis en maître d'œuvre intégré, réalise avec de nombreux partenaires et sous-traitants, sur ce chantier naval en pointe, une plateforme performante de sept emplacements desservis par un ascenseur à bateaux et des quais. Le projet est complexe et nécessite inclusions rigides, combiwalls, tirant d'ancrage avec contre-rideau, clouage et vibrocompactage. (Voir article page 46).



© ARCADIS

## EXEMPLES D'ÉVOLUTION DU BIM EN PRATIQUE ET EN THÉORIE

**Un webinaire Odeys et des conférences à Bimworld (23-24 juin) ont présenté des cas pratiques de mise en œuvre du Bim dans des projets de génie civil et l'évolution des outils à disposition des acteurs. En voici des extraits.**



Perspective du pont du Larivot (Guyane) dont les travaux ont commencé.

« Le maître d'ouvrage voulait une maquette numérique Bim de niveau 2 où chacun travaille sur sa maquette dans un format commun à tous et grâce auquel il peut y avoir agrégation dans une maquette commune, » a précisé Édouard Berton chargé d'étude ouvrages d'art au Cerema, à propos du doublement du pont du Larivot (Guyane) pour lequel le centre était assistant à maîtrise d'ouvrage. Le projet, présenté lors d'un webinaire Odeys<sup>(1)</sup>, est entré en phase travaux au début de l'été<sup>(2)</sup>. La Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement (Deal) de Guyane voulait aussi un Bim en 5D, dimension qui relie temps et coûts, et une vue en réalité

augmentée (en 3D). Egis, maître d'œuvre, a réalisé le Bim.

### → Bien visualiser les réseaux

La maquette numérique a permis une meilleure compréhension du projet, très utile lors des discussions avec le public. La Deal a également apprécié de visualiser les réseaux, en particulier au passage dans une culée. Elle en attend aujourd'hui une aide en phase exploitation.

Autre point de vue sur le Bim présenté lors du webinaire : celui d'Artes (NGE), bureau d'études exécution et coordinateur-manager du Bim, sur l'élargissement du viaduc de la Roumer (A85, Indre-et-Loire). Le dernier des 6 viaducs à être

élargi sur cette autoroute a été remis en circulation le 22 avril<sup>(3)</sup>.

### → Mise à jour automatique

La maquette de conception fournie en 2018 au stade des études par Arcadis a été fortement modifiée par la suite. Artes finalisait la maquette des dossiers des ouvrages exécutés fin juin 2021. « Le fichier gabarit prend beaucoup de temps à configurer mais il assure une modélisation optimale, observe Fouad Ezzoumi, projeteur génie civil et ouvrages d'art chez Artes. Nous extrayons les livrables à partir de la modélisation. Le découpage se fait automatiquement. S'il y avait une modification sur un coffrage, tous les plans impactés étaient mis à jour auto-

matiquement, c'est le principe de la maquette dynamique. »

Le bureau d'études s'est chargé de la modélisation numérique pour deux prestataires qui ne travaillaient pas en Bim. « Il faut savoir dès le départ du projet si les intervenants ont cette capacité ou non, » conseille M. Ezzoumi.

### Webinaire à voir sur :

<https://www.youtube.com/watch?v=iTYmugn-PSw> ■

<sup>(1)</sup> 2 juillet par le cluster construction et aménagement durable en Nouvelle-Aquitaine.

<sup>(2)</sup> Cf. Travaux n°969, juin 2021, page 12.

<sup>(3)</sup> Cf. Travaux n°953, septembre 2019, page 10.

## Min'd DANS LA REVUE TRAVAUX

**Pour tout savoir sur le projet national Min'd depuis le départ en 2014 ou réviser vos connaissances, voici les numéros ou articles que Travaux y a consacrés.**

- Spécial Bim 1, Travaux n°917, septembre 2015, pp 14-18.
- Spécial Bim 2, n° 934, août 2017, pp 22-29.
- n°914, avril-mai 2015, page 8.
- n°942, juin 2018, page 9.
- "Le Bim dans les infrastructures souterraines", n°947, décembre 2018 pp 86-91.
- n°950, juin 2019, page 10.

## CLASSES IFC ET DICTIONNAIRE DE DONNÉES

Le projet national Min'd (Modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables), démarré en 2014 et administré par l'Irex, est entré dans sa 2<sup>e</sup> saison fin 2018, avec une soixantaine de partenaires.

Rappelons que la collaboration de tous les acteurs d'un projet en Bim se base sur l'échange de fichiers indépendamment des logiciels utilisés par chacun, notamment grâce au format ouvert IFC (Industry Foundation Classes).

Les IFC sont un format standardisé selon un modèle de données orientées objets. Une classe IFC Bridge correspond, par exemple, à la superstructure d'un pont. Une classe est décomposée en sous-classes (poutres, tablier, etc.), elles-mêmes redécoupables.

### → Ajouter l'alignement

« Pour décrire les classes IFC, nous avons fait l'état des lieux des descriptions

qui existaient et ajouté les classes manquantes, par exemple, l'alignement, » a indiqué Édouard Berton, à Bimworld<sup>(1)</sup>, pilote du groupe de travail IFC Bridge de Min'd, depuis 2018.

Parallèlement à la description des classes IFC, est élaboré au sein de Min'd un dictionnaire de données. En ce qui concerne les ponts, le travail est terminé pour les ouvrages d'art courants et intégré au

## JUMEAUX NUMÉRIQUES EN VEDETTE

**Les jumeaux numériques seront au centre du congrès au prochain salon BimWorld, salon des usages et des bénéfices du numérique pour tous les métiers, les 5 et 6 avril 2022 à Paris (Porte de Versailles).**

**Les 23 et 24 juin 2021, les jumeaux numériques ont déjà figuré en bonne place avec plusieurs conférences dédiées à ce thème.**

**Un jumeau numérique (digital twin) est une représentation numérique et dynamique par exemple d'un ouvrage, initié avant sa mise en œuvre et pour en optimiser la conception.**

**Congrès 2021 sur [www.building360.online](http://www.building360.online)**

Buildingsmart Data Dictionary en français et en anglais. En saison 2, le groupe de travail IFC Bridge va intégrer les ouvrages complexes (précontraints, haubannés, etc.).

### → Connecter classes et définitions

Le dictionnaire de données est une liste de propriétés (ex. : pile, poutre, tablier, etc.) classées en systèmes et définies par une liste d'attributs selon la norme Iso 23386. Ce dictionnaire de données peut être associé au schéma IFC afin de connecter les classes à leurs définitions "métiers".

### Webinaire à voir sur :

[www.minnd.fr](http://www.minnd.fr) et <https://buildingsmartfrance-mediaconstruct.fr/memos-pratiques-BIM/> ■

<sup>(1)</sup> Bimworld 2021, 23-24 juin, 6 200 participants (visiteurs et exposants).

SANTÉ • PRÉVOYANCE • ASSURANCES • ÉPARGNE • RETRAITE • VACANCES

# NOUS AVANÇONS SUR LA MÊME ROUTE QUE LES TRAVAUX PUBLICS

Nous connaissons bien votre métier et tous ses risques.  
Nous les couvrons avec des garanties adaptées pour mieux  
vous protéger, mieux vous assurer et vous soutenir en cas  
de besoin. Et comme nous faisons aussi partie de la famille du BTP,  
nous ferons toujours route commune.



**PRO BTP**  
GROUPE

[www.probtp.com](http://www.probtp.com)

### CA DES ÉNERGIES MARINES À 71% EN FRANCE

En 2020, la filière française des énergies marines renouvelables (EMR) a réalisé 71% de son chiffre d'affaires (568 millions d'euros) sur le territoire national, le reste provenant de l'export. En 2018, cette part n'était que de 10% et, en 2019, de 21%\*. Ce transfert s'explique par le chantier du parc éolien au large de Saint-Nazaire et le lancement de ceux de Fécamp et Saint-Brieuc\*\* qui ont généré des usines de fabrication et d'assemblage ou leur agrandissement dans les ports (Le Havre, Saint-Nazaire, Cherbourg) et des opérations au large. Ainsi la fabrication et l'assemblage constituent-ils 62% du chiffre d'affaires et les travaux en mer, 20%.

La filière emploie 4 860 personnes à plein temps dont 96% dans l'éolien offshore (2020). Les énergies dites océaniques sont plus modestes avec 110 emplois dans l'hydrolien (énergie des courants), 43 dans l'houlomoteur (vagues), et 34 en énergie thermique des mers. En 2021, les EMR envisagent de créer 1 500 postes.

[www.merenergies.fr](http://www.merenergies.fr)

\* Enquête auprès de 290 entreprises par le Cluster maritime français. Voir aussi *Travaux* n°962, septembre 2020, page 6.

\*\* Cf. *Travaux* n°944, septembre 2018, page 8.



© SABELLA/BALAO

Transport par bateau d'une hydrolienne posée au fond de l'eau dans le passage de Fromveur, au large d'Ouessant (Finistère) en 2018.

## VOIES NAVIGABLES DE FRANCE RÉNOVE DES ÉCLUSES



© VOIES NAVIGABLES DE FRANCE

Les écluses de Gamsheim (Bas-Rhin) datent de 1977.

Les 2 écluses de Gamsheim sur le Rhin à 18 km au nord de Strasbourg (Bas-Rhin) entrent dans leur seconde phase de modernisation. Leur rénovation se monte à plus de 40 millions d'euros et devrait se terminer en 2025. Entre 2017 et 2020, Voies navigables de France (VNF), gestionnaire du site, a préparé la mise en chantier en dotant le site d'un système de contrôle-commande automatique grâce auquel la navigation se poursuit sur une des écluses à tour de rôle.

Chaque sas mesure 270 m de long et 24 m de large. Les ouvrages ont été construits en 1977 dans le cadre d'une convention franco-allemande (1969). Ils permettent aux péniches de franchir le dénivelé de 10,60 m de la centrale hydroélectrique installée sur le Rhin à ce niveau.

L'usine a contribué à l'accumulation de sédiments à l'amont des ouvrages, d'où un ralentissement de la navigation. La seconde phase des travaux a commencé en 2020 par des opérations de dragage. 2021 est consacrée aux études et démarches administratives. La réfection-modernisation des écluses reprend de 2022 à 2025.

→ Remise à neuf

Les parois des bassins doivent être refaites. Les joints entre blocs de béton ne sont plus étanches. L'eau s'infiltré

et remblai et blocs, créant des affouillements. Les blocs sont déstabilisés. VNF fait le choix de remettre à neuf la partie mécanique des écluses même si certaines pièces pourraient durer plus longtemps, de façon à limiter les interventions de maintenance et à faciliter l'exploitation. Sont renouvelés : le système d'évacuation et de chargement en eau des sas, les rails de guidage des portes, les poulies, contrepoids, motori-

sation, etc. Les portes sont conservées après traitement anticorrosion.

Le centre de supervision des écluses, le Caring, sera rebâti en 2022-2023. L'opération est estimée à plus de 40 millions d'euros. L'Union européenne apporte 8,7 millions au titre du Mécanisme d'interconnexion (MIE) et la région Grand-Est, 3,2 millions (contrat de plan État-région). Le service de navigation allemand WSA paie la moitié du dragage, soit 2,25 millions des 4,5 de ce lot.

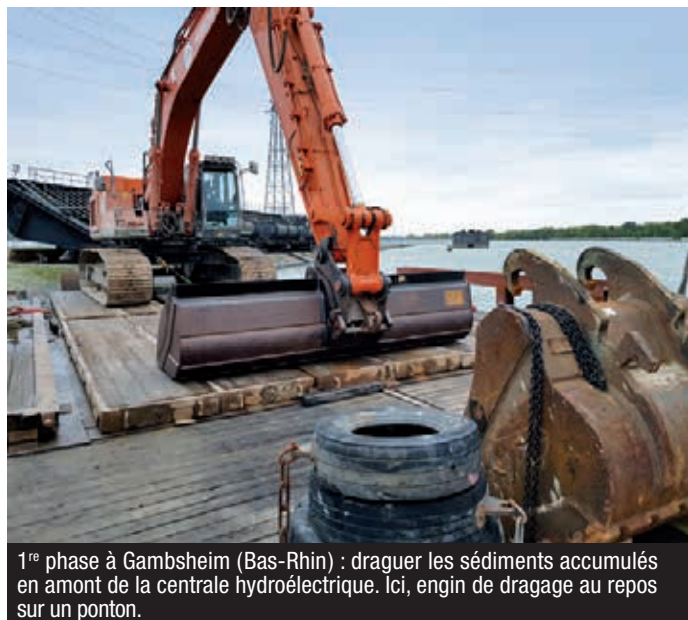
→ Marché en conception-réalisation

Autre gros chantier de VNF : la rénovation des écluses de Méricourt (Yvelines) construites dans les années 1960 sur la Seine, à 60 km en aval de Paris. Y transitent 250 bateaux par semaine dont des convois de 180 m de long et des paquebots de croisière.

La rénovation est confiée en conception-réalisation au groupement Bouygues avec, en maîtrise d'œuvre, BRLI et Strates-OA. L'une des écluses mesure 185 m de long, l'autre 160. Elles sont mises à la même longueur. Le chantier dure de 2020 à 2024. La quasi-reconstruction implique de conforter les bajoyers (parois latérales) et de rectifier leurs déformations afin de retrouver la largeur initiale. Les portes sont rénovées. Un nouveau local de commande est construit.

→ 92 millions à Méricourt

Montant de l'opération de Méricourt : 92 millions d'euros TTC financés par VNF, l'Union européenne (MIE) et l'île-de-France. ■



© VOIES NAVIGABLES DE FRANCE

1<sup>re</sup> phase à Gamsheim (Bas-Rhin) : draguer les sédiments accumulés en amont de la centrale hydroélectrique. Ici, engin de dragage au repos sur un ponton.



**BTP BANQUE**

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier  
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

[www.btp-banque.fr](http://www.btp-banque.fr)

## LA CAISSE DES DÉPÔTS AU SECOURS DES PONTS

La Banque des territoires (Caisse des dépôts) met à disposition des collectivités territoriales plusieurs dispositifs de soutien à la rénovation de leurs ponts. "Prioréno ponts" est un outil numérique d'aide à la décision : état du parc, évolution si rien n'est fait, estimation du coût des travaux. Gratuit, l'outil a été conçu avec des communes et des départements dans le cadre du Lab' des territoires, programme de création de services digitaux. Elle peut accorder des crédits pour l'ingénierie de connaissance d'un parc d'ouvrages et la priorisation des interventions.

Elle propose aussi le Mobi prêt sur cinquante ans, dédié à la mobilité et qu'elle a étendu aux ouvrages d'art.

Enfin, elle peut s'investir dans des sociétés de projets.

## TERRAIN RENAULT À RÉAMÉNAGER

L'Établissement public foncier Nord/Pas-de-Calais (EPF) s'allie avec l'agglomération de Douai (Nord) pour acquérir 150 hectares d'un site Renault et le requalifier.

Le constructeur automobile cède 150 ha sur les 270 ha qu'il occupe. L'opération inclut la déconstruction de bâtiments industriels. Le terrain se trouve dans le parc d'activités des Hautes-Rives. L'EPF consacre 40 millions d'euros à cet achat et aux transformations nécessaires à l'installation de nouvelles industries.

## GÉNIES DE LA CONSTRUCTION : OUVRAGES EXCEPTIONNELS EN MAQUETTE



Le château d'eau du lycée Gustave-Eiffel d'Armentières (Nord) avec lequel des élèves ont remporté un 2<sup>e</sup> prix. De gauche à droite : Frédéric Wawrzyniak (enseignant), Valentin Galland, Clément Omissus, Valentin Romero-Lazaro. Manque Louis Halliez.

Un château d'eau dans un lycée, ce n'est pas banal. Quatre élèves en terminale au lycée Gustave Eiffel d'Armentières (Nord) l'ont choisi pour leur projet annuel et moyen de préparer le grand oral du bac. En section STI2d (développement durable), spécialité architecture et construction, ils étaient sensibilisés aux questions de l'eau. Leur idée : stocker de l'eau de pluie dans le château et alimenter les toilettes du bâtiment de technologie à la place d'eau potable. Avec ce projet, ils ont remporté un 2<sup>e</sup> prix, catégorie lycées, aux Génies de la construction (17<sup>e</sup> édition), concours animé par le Comité de concertation et de coordination de l'apprentissage du bâtiment et des travaux publics<sup>(1)</sup>.

Ce château d'eau de 25 m alimentait les ateliers de l'École nationale professionnelle d'Armentières qui formait ouvriers, cadres et enseignants notamment pour l'industrie textile. Il fallait de l'eau pour les bâtiments et les machines à vapeur.

### → Lecture à distance

Les 4 lycéens en collaboration avec des terminales en Système d'information et numérique, ont réalisé une maquette du château d'eau tel qu'il pourrait refonctionner. Auparavant, ils ont calculé la surface du toit où recueillir l'eau de pluie (5 000 m<sup>2</sup>), la pluviométrie moyenne (350 m<sup>3</sup>/mois), dimensionné une cuve de stockage (200 m<sup>3</sup>) et étudié un filtrage par bassin de décantation.

La maquette fonctionne depuis le remplissage du château d'eau jusqu'au robinet des toilettes, avec lecture à distance du niveau d'eau.

« Après le bac, les 4 élèves continuent en DUT génie civil à Béthune (Pas-de-Calais), » informe leur professeur de génie mécanique, Frédéric Wawrzyniak. C'est aussi grâce à une maquette que des classes de 3<sup>e</sup> du collège Joseph Julien Souhait de Saint-Dié-des-Vosges

(Vosges) ont gagné le 3<sup>e</sup> prix dans leur catégorie. Ils ont reproduit en miniature l'ascenseur à bateaux d'Arzwiller (Moselle), situé à 70 km.

« La proximité de l'ouvrage et l'anniversaire de sa mise en service en 1969 nous ont conduit à le choisir pour le concours, » indique Régis Culot, professeur de technologie. Le projet (2019-2021) a touché différents cours : physique-chimie, mathématiques, sciences de la vie et de la terre, histoire-géographie et même musique pour la vidéo de présentation.

### → Montée ou descente en 1 mn 30

Les élèves ont commencé par un dessin qu'ils ont modélisé en 3D. Des contraintes ont été données : faire monter ou descendre le caisson-bateau en 1 minute 30. En réel, il faut 4 minutes 30. Les matériaux devaient être à 50 % recyclables et le plan incliné, piloté à distance (sur tablette). Il fallait aussi réguler la température du local du personnel.

La maquette représente même les contrepoids (920 tonnes en réalité) et les 2 petits moteurs (90 kW).

L'ascenseur qui faisait franchir un dénivelé de 44,50 m à 6 000 péniches par an sur le canal de la Marne au Rhin, remplaçait 17 écluses. Aujourd'hui, il sert surtout aux bateaux de plaisance. ■

<sup>(1)</sup> Partenariat entre le ministère de l'Éducation nationale, la FFB, la FNTP, l'École française du béton avec l'Association pour la connaissance des travaux publics, l'Assetec, l'APMBTP et l'AUGC.



3<sup>e</sup> prix "collège" : maquette de l'ascenseur à bateaux d'Arzwiller (Moselle) autour de laquelle des élèves de 3<sup>e</sup> se sont mobilisés.

## RETROUVER LA CLIENTÈLE À CONSTRUCTION DAYS



© CONSTRUCTION DAYS

Le salon prévoyait de nombreuses démonstrations en extérieur.

La principale qualité de Construction Days, c'est d'avoir lieu. Décidé en février, il s'est tenu du 14 au 16 septembre, à Lyon. Batimat s'est reporté de 2021 à 2022 (3-6 octobre) et Intermat, de 2021 à 2024 (avril).

Le nouveau salon est plus modeste que les "historiques" dont les chiffres de fréquentation tournent autour de 150 000 à 250 000 visiteurs. Étaient attendus à Lyon (Eurexpo) 10 000 visiteurs et 200 exposants.

### → L'Auvergne/Rhône-Alpes en 2<sup>e</sup> position

Construction Days, salon des équipements et solutions pour la construction, est organisé par Comexposium avec le Syndicat des entreprises internationales de matériel de travaux publics, mines et carrières, bâtiment et levage.

« Nous répondons à une attente du marché en France, les salons sont une des clés de la reprise, les professionnels recherchent la convivialité », indique Isabelle Alfano, directrice du pôle construction et agro-équipement de Comexposium. La région Auvergne/Rhône-Alpes arrive en 2<sup>e</sup> position en chiffre d'affaires

réalisé en travaux publics avec 5,4 milliards d'euros et en bâtiment, 17,5 milliards (2018). »

« Il est temps de retrouver les clients physiquement, » reconnaissait en juin Jean-Marie Basset, directeur France et Belgique de Bergerat Monnoyeur. Selon une enquête, les adhérents du Seimat et des concessionnaires ont préféré Lyon à Paris, et le mois de septembre a été considéré comme le bon. La décision de tenir un salon ayant été prise en février, cela laissait peu de temps pour le mettre sur pied.

Eurexpo a l'avantage d'avoir de larges espaces extérieurs où peuvent évoluer des machines dans des conditions proches de la réalité.

À mi-juin, les exposants inscrits venaient surtout du terrassement et des nouvelles technologies. Comexposium espérait que d'autres sociétés allaient s'y rallier venant de la route, des matériaux, fondations, levage-manutention, filière du béton et du gros œuvre du bâtiment.

Ritchie Bros organise une vente aux enchères de matériel pendant tout le salon.

Le digital est bien représenté avec un espace sous chapiteau dédié aux nouvelles technologies.

### → Espace numérique

Les relations avec les clients passent plus qu'avant par des plateformes internet, avec même du diagnostic et des interventions à distance (Bergerat Monnoyeur). Cinq conférences sont planifiées pendant le salon, le matin de 11h à midi, l'après-midi, de 14h30 à 15h30. Thèmes : la transition numérique et écologique, la prévention et la sécurité, l'emploi et la formation.

Le Seimat y remet des prix à 15 élèves en bac professionnel et 5 en BTS. Il leur verse une bourse d'études.

### → Remontée du matériel

Construction Days se tient dans un contexte de relance, avec une progression positive perçue par la Fédération nationale des travaux publics et par la Fédération française du bâtiment en 2021, après une année 2020 très en recul.

Le Seimat estime que les ventes de matériel vont augmenter de 8 %, à 52 700 unités dont 22 800 en terrassement. ■

### LYON-TURIN : 1<sup>er</sup> LOT ATTRIBUÉ

La société du Tunnel euralpin Lyon Turin ferroviaire (Telt) a attribué le 1<sup>er</sup> lot du tunnel de base à un groupement mené par Eiffage Génie Civil avec Spie Batignolles, et deux entreprises italiennes, Ghella et Cogeis, début juillet.

Ce lot correspond au tronçon Villarodin-Bourget/Modane (Savoie).

Le marché comprend un tunnel bitube de 22 km dont 18 seront creusés par 2 tunneliers et 4, en méthode traditionnelle. Sont inclus un centre de sécurité à Modane, les rameaux de communication, les tunnels transversaux et les niches de sécurité et d'exploitation. Le chantier devrait être terminé vers 2028.

Montant du lot : 1,45 milliard d'euros (660 millions pour Eiffage et 500 millions pour Spie Batignolles).

Rappelons que ces entreprises sont déjà sur place. Elles réalisent la galerie de reconnaissance à partir de la descente de Saint-Martin-la-Porte (Savoie), travaux qui se terminent au 1<sup>er</sup> trimestre 2022.



© TELT

Les travaux en cours de la galerie de reconnaissance du tunnel Lyon-Turin ont été confiés aux mêmes entreprises. Ici, en 2018.

## EGIS INVESTIT DANS 2 SOCIÉTÉS

Egis a pris, début juin, une participation majoritaire du capital d'AD Ingé, maître d'œuvre en désamiantage, tri sélectif, recyclage, réemploi sur des opérations de démantèlement ou démolition que ce soit de bâtiments ou de ponts, tunnels, barrages, dans le Grand-Ouest et en région parisienne.

Le groupe, filiale à 75 % de la Caisse des dépôts, renforce ainsi son activité démolition-démantèlement, tandis qu'AD Ingé s'ouvre davantage à la dépollution et à la gestion de terres, avec un accès aux marchés grands comptes qui lui échappaient jusqu'à présent.

Par ailleurs, Egis a repris, le 1<sup>er</sup> juillet, une jeune entreprise spécialisée dans la numérisation de la performance énergétique.

Openenergy, créée en 2012, veut passer au stade commercial après ces quatre dernières années consacrées à la recherche et au développement. Elle a conçu deux plateformes, l'une de simulation énergétique (Oplus), l'autre de suivi énergétique des bâtiments. Elle assure aussi des prestations d'ingénierie énergétique.

Egis, de son côté, entend proposer des contrats avec garantie de performance énergétique, l'outil d'Openenergy autorisant des simulations rapides et à grande échelle.

## FUSION BIRCO-ACO

Birco et Aco, deux spécialistes de drainage de surface des eaux, vont fusionner en 2021, sous réserve de l'accord des autorités de la concurrence. Aco Severin Ahlmann GmbH & Co KG reprend 100 % des parts de Birco GmbH. Les activités commerciales des deux entreprises continuent sous leurs marques respectives.

## LE PONT ALBERT LEBRUN D'ANNECY EST RECONSTRUIT



© LIONEL JOSSEBANDVILLE D'ANNECY

La poutre du pont Albert Lebrun, côté lac, sera conservée.

Le pont Albert Lebrun d'Annecy (Haute-Savoie) va être presque totalement démolé et reconstruit de septembre 2021 à juin 2022.

L'ouvrage de 1934 porte le nom du président de la République de l'époque. Il a été construit pour élargir la voie routière au bout de la couverture du canal du Vassé. Il reçoit deux voies dans un sens,

l'autre sens se situant sur la couverture en voûte du canal.

### → Fondations en micropieux

En béton armé, il souffre de corrosion et de carbonatation. Les armatures sont apparentes en sous-face. Voitures, bus et cars de tourisme l'empruntent. Outre la corrosion, l'ouvrage n'avait pas été calculé en tenant compte des efforts hori-

zontaux liés à la circulation. Il repose sur un massif en enrochement bétonné et ferrillé. Il sera reconstruit sur micropieux qui descendent à 20-23 m. Le sol se compose d'argiles lacustres, de sables et sédiments limoneux. Equaterre a été missionné pour définir les conditions géotechniques et caractériser le profil géomécanique jusqu'à 25 m. Le bureau d'études va également surveiller le chantier.

Le nouveau pont cadre fermé est coulé en place. Il mesure 12 m de large par 22,75 m de long. Le tympan visible depuis le lac est conservé, site classé oblige.

### → Couplage de chantiers

La ville d'Annecy intervient sur l'ouvrage en même temps que la Direction départementale du territoire (État) remplace le barrage de régulation du lac situé dessous. Elle coordonne les deux chantiers. Coût de l'opération : 1,925 million d'euros HT. Maîtrise d'œuvre : Omnis Structures Conseils ; entreprises : groupement avec Socco (mandataire) et Resirep (fondations profondes). ■

## REZ-DE-VILLE À BAGNEUX (HAUTS-DE-SEINE)

« Raisonner à l'échelle du rez-de-ville », c'est l'intention des aménageurs du quartier de la Pierre plate, grand ensemble des années 1960, dans le nord de Bagneux (Hauts-de-Seine).

Sadev 94 avec Citallios ont été retenues en mars par l'Établissement public territorial Vallée Sud Grand Paris<sup>(1)</sup> pour ouvrir la Pierre plate sur les secteurs environnants. L'opération sur 5,5 ha est en phase études. Chantier de 2023 à 2030. L'occupation du rez-de-ville devra combattre le manque d'animation actuelle. Seuls le parc Nelson-Mandela et le City stade sont très fréquentés.

En rez-de-chaussée, seront implantés des équipements collectifs, des activités économiques, des commerces. Des "lieux de faire", à bas loyer, y auront leur place comme des espaces de travail, d'insertion, de formation, de création artistique et des ateliers de réparation. Après des enquêtes de terrain et pour associer les habitants aux changements du quartier, les aménageurs prévoient de l'urbanisme transitoire. « Des facteurs d'incertitude demeurent quant à la réussite du mixte

de fonctions (...), » écrivent-ils. Une "maison de la transition" est envisagée.

### → Revaloriser le quartier

À côté de l'amélioration du cadre de vie, l'opération entend éviter le « décrochage du quartier en diminuant par deux la proportion de logements sociaux d'ici à 2030 ». La Pierre plate, projet de rénovation urbaine et sociale (Anru), abritera 580 logements.

Le secteur situé entre le cimetière de Bagneux à l'ouest, Montrouge au nord et Arcueil (Val-de-Marne) à l'est, va être de fait revalorisé par la station Bagneux de la Ligne 15 du Grand Paris Express et la prolongation de la Ligne 4 du métro parisien. ■

<sup>(1)</sup> L'EPT émane de onze communes du sud de Paris, de Malakoff à Antony, et de Bagneux à Clamart, dans l'Est des Hauts-de-Seine.



© RICHEZ ASSOCIES

Le Parvis des équipements reliera les gares du prolongement de la Ligne 4 du métro et de la 15 du Grand Paris Express.



## 1<sup>ers</sup> TROPHÉES "ÉCONOMIES D'EAU"



Valise de branchement et comptage sur bouche de lavage pour un usage temporaire comme un chantier.

Compter l'eau incite à ne pas la gaspiller. Les dispositifs mis en place par Eau du Grand Lyon vont dans ce sens et lui ont valu deux trophées du Club des bonnes pratiques d'économies d'eau (CBPEE), catégorie "outils techniques". Les trophées "économies d'eau" ont été attribués pour la 1<sup>re</sup> fois cette année par le CBPEE, lancé en 2020 par le ministère de la Transition écologique et animé par la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR).

### → Décompter l'eau de rue

Eau du Grand Lyon veut réduire les usages non comptés d'eau potable car, considérés comme des pertes, ils ne sont pas facturables. Le contrat de délégation de service public, renouvelé en 2015 pour 7 ans, est exigeant sur ce point. La filiale de Véolia a posé des capteurs Tempo sur 5 000 bouches de lavage des rues. Ces capteurs enregistrent la date d'utilisation et la durée du prélèvement d'eau potable. L'opération, commencée en 2015, a considérablement diminué les volumes consommés. Auparavant, les cantonniers disposaient de 12 000 bouches, certaines inutilisées. Une partie du nettoyage à pied est remplacé par des machines.

Le 2<sup>e</sup> trophée remporté par Eau du Grand Lyon l'a été pour Mobil'eau, une valise

jaune contenant un compteur, un clapet et une télé transmission. L'entreprise qui a besoin d'eau sur un chantier la branche sur une bouche d'incendie ou de lavage. Elle paie 1 euro le mètre cube.

### → Moins puiser dans une nappe

Un trophée "information, communication et sensibilisation des usagers" a été remis au Syndicat mixte d'étude et de gestion de la ressource en eau du départe-

tement de la Gironde (Smegreg) pour la politique d'économies d'eau incluse dans le Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau Nappes profondes<sup>(1)</sup>. Cet ensemble d'actions vise à sensibiliser tous les usagers à la préservation de ces nappes. Distribution de kits hydro-économiques, conseils, campagnes de communication, inscription du sujet au programme de toutes les écoles et collèges, ont abouti à une consommation de 47 m<sup>3</sup>/habitant/an d'eau potable au lieu de 50-55 en 2003.

L'eau est prélevée à 95 % dans une nappe de l'Éocène du bassin aquitain, entre 30 et 250 m de profondeur. Pour que cette ressource se renouvelle, il fallait diminuer les prélèvements. Sur le long terme, le Smegreg veut lui substituer d'autres nappes. Un 1<sup>er</sup> projet doit voir le jour en 2024.

Un trophée catégorie "réduction des consommations en période de stress hydrique" a été décerné à Saint-Quentin (Aisne) avec EGM<sup>(2)</sup> pour un arrosage intelligent de 13 terrains de sport. La ville en attend une baisse de 30 % des consommations.

### → Arrosage planifié

Mis en route ce printemps sur 5 terrains, le système fournit un planning d'arrosage à partir du taux d'humidité du sol, de la météo, et des plages d'utilisation du stade et de tonte. Les données sont centralisées sur une plateforme exploitée par EGM, accessible aux agents de la ville. ■

<sup>(1)</sup> Sage : document de planification à l'échelle d'une unité hydrographique cohérente, tel un bassin ou un aquifère.

<sup>(2)</sup> Avec Hostabee, Faubourg numérique et Rainbird.



Installation de capteurs de mesure d'humidité dans le sol du stade d'honneur Debrésie à Saint-Quentin (Aisne).

## TOUR BOIS-BÉTON DE 50 m

La tour Hypérion, à structure bois, a été livrée à Bordeaux (Gironde) en juin. Le projet avait été reconnu "démonstrateur industriel pour la ville durable" par l'État\* et avait remporté le Bim d'or en 2019\*\*.

Haute de 50 m, elle est constituée de béton pour le socle de trois niveaux et le noyau, et de bois pour la structure en poutres en lamellé-collé et les murs à ossature bois. Le bois massif (1 400 m<sup>3</sup>) provient de la région Nouvelle-Aquitaine.

La tour de 17 niveaux, conçue par Jean-Paul Viguier, architecte, s'intègre dans un ensemble immobilier.

\* Projet n°3 de Bordeaux Living Lab, voir [www.urbanisme-puca.gouv.fr](http://www.urbanisme-puca.gouv.fr).

\*\* Cf. Travaux n°955, novembre 2019 page 12.



© ALBAN GILBERT

La tour de 17 niveaux mesure 50 m de haut.

## CHANTIER CONNECTÉ

Novade propose un écosystème digital qui relie les données de terrain aux logiciels de l'entreprise. Par abonnement sur sa plateforme et accès par smartphone ou tablette, les clients disposent sur chantier des plans, observations, problèmes, formulaires dont ils peuvent avoir besoin, et qui sont produits par différents logiciels.

### RÉPARATION DES VIPP

Le Centre d'expertise pour les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) a publié en juin un ouvrage sur l'évaluation structurale et la réparation des viaducs à travées indépendantes à poutres préfabriquées précontraintes par post-tension (VIPP).

En 240 pages, le Cerema explique la pratique du ministère des Transports en matière d'évaluation et de réparation structurales des VIPP. Il est destiné aux bureaux d'études et aux maîtres d'ouvrage. Il complète le guide "Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art" en abordant le cas spécifique des VIPP.

### QUALITÉ DES CONSTRUCTIONS PUBLIQUES

La mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques a mis à jour deux guides téléchargeables.

Elle a illustré le guide sur la qualité des constructions publiques (68 pages), paru il y a vingt ans, par des exemples plus récents. Elle a actualisé le fond du guide "Concours de maîtrise d'œuvre : dispositions réglementaires et modalités pratiques d'organisation" (72 pages). La première édition remonte à 2012. La version de 2020 prend en compte des évolutions législatives et réglementaires comme la transposition de la directive européenne sur les marchés publics de 2014, la loi Elan de 2018 (n°2018-1021) et la codification au 1<sup>er</sup> avril 2019 concernant la commande publique.

<http://miqcp.gouv.fr/rubrique/publications/guides>

## 1<sup>er</sup> TÉLÉPHÉRIQUE DANS LE SUD DE L'AGGLOMÉRATION PARISIENNE



© ÎLE-DE-FRANCE MOBILITÉS/DOPPEL FRANCE/ATELIER SCHALL

Une télécabine se présentera toutes les 30 secondes.

En 2025, un téléphérique reliera Créteil à Villeneuve-Saint-Georges (Val-de-Marne) en 4,5 km et 17 minutes là où il faut 15-20 mn en voiture, au mieux, pour parcourir 7-9 km et de 20 à 35 mn en bus.

Le "Câble A", 1<sup>er</sup> du genre en région parisienne, desservira quatre communes (20 000 habitants) - Créteil, Limeil-Brevannes, Valenton et Villeneuve-Saint-Georges - en 5 stations.

Le marché de conception-réalisation-maintenance a été signé en juin entre Île-de-France Mobilités, autorité organisatrice des transports, et le groupement mené par Doppel France.

Doppelmayr France fournit les cabines et le système du téléphérique. Egis est chargé de la direction du projet, de l'ingénierie de groupement, de la fourniture clé-en-main des ouvrages électriques annexes au système de transport. Spie Batignolles Génie civil réalise les stations, installe 35 pylônes (stade projet) sur pieux et les ouvrages annexes.

L'Atelier Shall conçoit l'architecture des stations, le design des cabines et pylônes, les aménagements urbains et paysagers que France Travaux réalisera.

#### → Traiter la covisibilité

Le téléphérique survole des voies ferrées, la RN406 et la Tégéval, promenade verte de 20 km entre Créteil et Santeny (Val-de-Marne, chantier 2013-2028).

Le groupement a été retenu notamment pour la qualité de l'insertion des stations et des câbles en milieu urbain et le traitement de la covisibilité entre cabines et habitat.

Le Câble A transportera, dans un premier temps, 1 600 personnes par heure et par sens. Île-de-France Mobilités souhaite monter à 2 000. Les cabines se présenteront toutes les 30 secondes.

#### → 110 millions d'euros

Les études de conception ont débuté en juillet. Les travaux devraient démarrer en 2022 pour une mise en service au 1<sup>er</sup> trimestre 2025. Montant des travaux : 110 millions d'euros (tranche ferme). ■

## GÉOTHERMIE À 2 PUIXS DE PRODUCTION

En 2022, le réseau de chaleur de Vélizy-Villacoublay (Yvelines) devrait être alimenté à 66 % par une source géothermique.

Le forage, lancé en août 2020 avec la société SMP, s'est terminé en février 2021. En juin, ont débuté les travaux de la centrale qui abrite les échangeurs géothermiques et les pompes à chaleur. Conception : Orrso/Aurèle Orsetti Architecture.

La chaufferie du réseau est en cours d'adaptation et de raccordement.

Jusqu'à présent, le réseau qui remonte à 1962, fonctionnait au gaz naturel dont une partie en cogénération (production simultanée d'électricité).

Le réseau de 19 km, baptisé Vélidis, fournit eau chaude et chauffage à 12 000 équivalents-logements dans une commune de 22 000 habitants.

Il est géré par une société par actions simplifiée d'énergies renouvelables, Veligeo, à 80 % entre les mains d'Engie Solutions et 20 % dans celles de la Ville. Le contrat est de vingt-huit ans.

Deux puits donnent accès à de l'eau à 65°C à 1 600 m de profondeur. Un troi-

sième sert au rejet des eaux refroidies.

#### → Doublement du débit

Cette configuration à deux drains de production, une technologie de Schlumberger, double le débit jusqu'à 400 m<sup>3</sup>/h. L'originalité de cette installation est reconnue par l'Agence de la transition écologique (Ademe) qui l'a sélectionnée

comme démonstrateur et par le programme privé Concertation pour l'innovation technologique dans les domaines des énergies.

#### → 25 millions d'euros

Coût de l'installation : 25 millions d'euros (2020) dont 5,9 millions d'euros versés par l'Ademe et 3 millions par la Région. ■



De l'eau à 65°C est puisée à 1 600 m de profondeur.

© ENGIE SOLUTIONS

## AGENDA

### ÉVÉNEMENTS

*Les lecteurs sont invités à vérifier par internet que les événements annoncés dans cette rubrique ont bien lieu, à quelle date et dans quelles conditions (à distance ou en présentiel).*

#### • 12 AU 15 OCTOBRE

##### Pollutec

Lieu : Lyon (Eurexpo)  
www.pollutec.com

#### • 13 ET 14 OCTOBRE

##### Colloque national éolien

Lieu : Paris (Parc floral)  
https://fee.asso.fr

#### • 15 OCTOBRE

##### Journée d'hommage à Pierre Habib et Pierre Duffaut

Lieu : Cnam Paris  
www.cfmr-roches.org

#### • 19 AU 22 OCTOBRE

##### Congrès de la Société de l'industrie minérale

Lieu : Lille (Nord)  
www.lasim.org

#### • 25 AU 29 OCTOBRE

##### Ines Solar World Congress

Lieu : par internet  
www.ises.org

#### • 27 ET 28 OCTOBRE

##### Hylvolution, l'hydrogène pour l'énergie, l'industrie et la mobilité

Lieu : Paris  
www.hylvolution-event.com

#### • 16 AU 18 NOVEMBRE

##### Salon des maires

Lieu : Paris (Porte de Versailles)  
www.salondesmaires.com

#### • 17 ET 18 NOVEMBRE

##### Rock Slope Stability

Lieu : Chambéry (Savoie)  
www.c2rop.fr

### FORMATIONS

#### • 5 AU 7 OCTOBRE

##### Surveiller les parties immergées des ouvrages : inspection et auscultation subaquatiques

Lieu : La Rochelle (Charente-Maritime)  
https://formation-continue.enpc.fr

#### • 6 ET 7 OCTOBRE

##### Maintenir les ouvrages portuaires : démarche et organisation de la maintenance

Lieu : Paris  
https://formation-continue.enpc.fr

#### • 6 AU 8 OCTOBRE

##### Limiter l'impact environnemental d'un chantier

Lieu : Paris  
https://formation-continue.enpc.fr

### NOMINATIONS

#### BEAUX-ARTS :

Anne Démians, architecte-urbaniste, a été élue à l'Académie des Beaux-Arts. Elle occupe

le fauteuil de Roger Taillibert (décédé en 2019). M<sup>me</sup> Démians a notamment contribué à la transformation de l'Hôtel-Dieu à Paris.

#### COLAS :

Amelia Irion est la nouvelle directrice des ressources humaines du groupe Colas suite au départ en retraite de Philippe Tournier.

#### DIRECTION DÉPARTEMENTALE DES TERRITOIRES LOT-ET-GARONNE :

Romain Guillot est à la tête de la direction départementale des territoires du Lot-et-Garonne suite au départ de Benoît Faist.

#### FILIÈRE BÉTON :

Philippe Gruat est remplacé à la présidence de la Filière béton par François Pétry (Lafarge-Holcim France). La filière regroupe plusieurs syndicats et fédérations du domaine.



# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**Retrouvez l'actualité de la profession, les chantiers en images, les interviews des grands décideurs, le point de vue des ingénieurs.**  
**Pour réserver votre emplacement publicitaire dans Travaux, contactez :**

#### Prochains numéros :

- TRAVAUX n° 972 « Ouvrages d'art »
- TRAVAUX n° 973 « Spécial innovations et transitions »



#### Bertrand COSSON

Tél. 01 41 63 10 31  
b.cosson@rive-media.fr

# TRAMAF PASSER AU VERT EST DEVENU UNE NÉCESSITÉ

Les entreprises adhérentes du Tramaf (syndicat des TRAVaux MARitimes et Fluviaux) développent des savoir-faire complexes dans les nombreux métiers qu'elles exercent dans les travaux maritimes et fluviaux. Elles sont confrontées, notamment, aux enjeux liés à la protection de l'environnement, la formation, la sécurité, ... qui nécessitent, face à l'évolution permanente et au durcissement de la réglementation, une expertise accrue. **Entretien avec Frédéric Bernadet, président du Tramaf depuis 2017.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1- Frédéric Bernadet, président du Tramaf.

## Quelle est l'origine du Tramaf ?

Le Tramaf est né en 1996 d'une extension du Sned (Syndicat National des Entreprises de Dragage) et regroupe les entreprises françaises qualifiées dans les domaines du dragage, déroctage, battage de palplanches, tubes et pieux par voie nautique, génie civil d'ouvrages maritimes, protection d'ouvrages littoraux, immersion d'émissaires de rejet ou de pompage, manutention et/ou immersion de colis lourds par moyens maritimes.

Ces travaux s'exercent dans les eaux et ports maritimes, leurs accès et bassins, dans les eaux et port fluviaux, les canaux, en zones lacustres, barrages et retenues d'eau.

Le Tramaf et trois autres syndicats professionnels ont décidé en 2013 de créer l'UMTM<sup>(1)</sup>, le Tramaf s'appuie

désormais sur une véritable synergie métiers pour développer ses compétences dans de nombreux nouveaux domaines techniques. L'UMTM appuie toutes ses démarches, notamment auprès de la FNTP.

## Dans les grandes lignes, quelles sont ses missions ?

En collaboration avec la FNTP, nous contribuons à la création d'identifications professionnelles adaptées à nos métiers et propres à notre profession, en participant notamment aux commissions d'attribution.

Nous avons mis en place une politique de qualification, pour conserver l'identité de notre profession et reconnaître les niveaux de compétence de chacune de nos entreprises, incluant en particulier une réflexion sur la labellisation.

FIGURE 1 © MARC MONTAGNON - FIGURE 2 © GUILLAUME GODIER - FIGURE 3 © PORT DE MARSEILLE-FOS





**2- À Cherbourg, le quai de France allongé et sécurisé pour faciliter et sécuriser l'amarrage des navires de grandes dimensions (ETPO).**

**3- Le port de Marseille a été le premier en France à doter ses quais en électricité pour brancher les navires et éviter les fumées noires des escales.**

**4- Le guide de sécurité des travaux maritimes, remis à jour en 2019.**

**5- Renouveau du canal des Landes, entre le lac de Cazaux et le bassin d'Arcachon (Etchart Construction).**

**6- Travaux de renforcement du quai de Norvège à Dieppe dans le but d'améliorer la capacité d'accueil et d'exploitation de l'ouvrage (ETMF).**

Le Tramaf collabore avec le Cerema (Centre d'Etude sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement) et, plus particulièrement avec sa direction technique (eau, mer et fleuves), sur certains sujets spécifiques (enrochement, béton à la mer, etc.) permettant la reconnaissance de critères techniques conformes aux caractéristiques des

produits que nous utilisons et aux capacités de nos entreprises.

Nous collaborons également avec l'INSEE et la FNTF pour l'adaptation des formules de révisions de prix concernant l'ensemble des activités et des travaux maritimes et fluviaux ainsi qu'à notre représentation sur le terrain dans les fédérations régionales de travaux publics au travers de nos membres dont les activités s'exercent en région. Nos représentants locaux participent aux conflits locaux pouvant survenir entre les entreprises et les maîtres d'ouvrage dans le cadre des comités consultatifs des règlements amiables (CCIRA).

Nous mettons en place une politique de formation et d'attribution de certificats de qualification professionnelle par notre syndicat. En effet, nous opérons dans des métiers très spécifiques.

Sur certaines activités de niche, les formations référencées n'existent pas. Devenir capitaine de drague, batteur de pieux ou soudeur exige par exemple des compétences spéciales qui s'acquerraient souvent avec l'expérience. Dans une optique de professionnalisation des équipes, nous avons lancé au Tramaf, en 2011 et 2018, deux certificats de qualification professionnelle (CQP) pour l'activité de battage à destination des compagnons et des chefs d'équipe.

Enfin, nous éditons des guides spécifiques - à l'usage des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre et des entreprises - relatifs aux diverses activités de la profession dans les domaines réglementaires de sécurité.

### Quelles actions récentes ou en cours du Tramaf pouvez-vous mettre en évidence ?

Nos actions sont très nombreuses mais je vous citerai trois d'entre elles pour lesquelles le syndicat est très engagé : le guide de sécurité, la charte RSE et le sujet du GIE Dragages-Ports.

## FRÉDÉRIC BERNADET : PARCOURS

**Frédéric Bernadet est ingénieur de l'École Centrale de Nantes (1991).**

**Il commence sa carrière en 1991 chez Dumez sur le chantier du barrage de Yacyreta en Argentine puis participe aux travaux de modernisation d'adduction d'eau de la ville de Buenos Aires à partir de 1994.**

**En 1998, il devient directeur de chantier pour Dumez-GTM en Colombie puis au Chili.**

**Il rejoint Vinci Construction France en juin 2002 et est nommé président de Tournaud, entreprise spécialisée dans les travaux maritimes et fluviaux.**

**En 2008, il prend la direction des travaux nautiques de Vinci Construction France.**

**En 2013, il est nommé directeur délégué travaux publics Île-de-France de Vinci Construction. Son périmètre s'élargit en mai 2015 avec la direction déléguée de Sogea IDF puis, au 1<sup>er</sup> septembre 2016, avec l'activité maritime et fluviale de Vinci Construction France.**

**Frédéric Bernadet est directeur opérationnel Travaux Publics Île-de-France et travaux maritimes de Vinci depuis le 1<sup>er</sup> septembre 2017.**

**Il est président du Tramaf depuis septembre 2017.**

### Commençons par le Guide de sécurité

La version 2019 du "Guide de sécurité des travaux nautiques" est l'une d'entre elles. Cet ouvrage, sans équivalent à l'heure actuelle, est destiné à l'ensemble des acteurs dans le domaine des travaux fluviaux et maritimes, aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'œuvre, aux entrepreneurs, à leurs directeurs de travaux, aux responsables des matériels nautiques, aux chefs de chantier, aux inscrits maritimes et marinières et enfin à tous les salariés des entreprises lorsqu'elles effectuent des travaux nautiques ou en bordure de plan d'eau.

© VISA AILES

5



© PORTS DE NORMANDIE

6



Chacun des utilisateurs peut trouver dans ce guide les références des textes législatifs et réglementaires et leurs applications propres aux matériels utilisés et aux personnels embarqués. Il y trouve également tout ce qu'il faut savoir et mettre en application afin que les travaux en sites fluviaux et maritimes se déroulent dans des conditions optimales de sécurité pour l'ensemble des personnels (qu'ils soient marinières, inscrits maritimes ou salariés des entreprises de travaux publics appelés à travailler sur des engins nautiques) ainsi que pour les matériels.

Ce guide a été établi dans le respect de la charte du syndicat des Travaux Maritimes et Fluviaux, charte dont les critères correspondent aux exigences de notre temps. Il est tourné essentiellement sur les aspects relatifs à la sécurité des travaux nautiques. Il analysera donc essentiellement les aspects législatifs et réglementaires des codes du travail et des transports et leurs conséquences pour les travaux nautiques. Cet ouvrage incontournable de prévention et de sauvetage en site maritime et fluviaux, édité il y a plus de 30 ans, a servi de référence à de nombreux intervenants au cours de ces années. Progressivement la publication de nouveaux textes a rendu ce document inapproprié face au renforcement des exigences de sécurité et il devenait nécessaire de l'actualiser.

En effet, depuis quelques années, les divers responsables de la sécurité et les formateurs attiraient notre attention sur la refonte indispensable de ce document qui tient encore bien souvent lieu de fil conducteur à nos démarches de sécurité.

Nous n'avons pas voulu faire de ce nouveau guide un document qui réponde mot à mot à toutes les demandes en



7  
© ETPO

matière d'armement, d'équipement des matériels, de consignes de sécurité ; en revanche, chacun y trouvera la bonne marche à suivre pour arriver à résoudre les problèmes précis auxquels il est confronté.

Ainsi, nous soulignons dans les textes de base ce qu'il faut connaître afin d'aller dans de bonnes conditions vers les documents finaux liés à la sécurité des personnels et des matériels, documents à obtenir ou à établir.

Cet ouvrage ébauche également d'autres réglementations liées, par

exemple, à l'environnement, mais nous n'avons pas voulu traiter de tels aspects pour rester dans le cœur de notre sujet. Grâce aux moyens que nous proposons aujourd'hui internet, nous avons conçu un document qui pourra, au fil du temps, s'enrichir en fonction de l'évolution de la réglementation et de la mise en service de matériels nouveaux.

Les utilisateurs pourront vérifier dans le sommaire les dates de mise à jour, chapitre par chapitre, et donc disposer de la dernière version en vigueur. Le support officiel de notre guide reste

la source électronique du site Tramaf<sup>(2)</sup>. Pour arriver à cet objectif, le Tramaf a mis en place une veille réglementaire et s'appuie sur la collaboration de ses adhérents pour compléter la liste des divers matériels utilisés et les modes d'utilisation.

Notre ambition ne s'arrête pas là : porté par le principe de l'amélioration continue, ce document, libre d'accès et d'utilisation par tous ceux qui sont concernés par le sujet, pourra également évoluer grâce à la collaboration de ses divers utilisateurs.

### En ce qui concerne la charte RSE ?

La place de l'entreprise dans la société interroge nos concitoyens. Nombreux sont les phénomènes qui bousculent les codes : le changement climatique n'est plus désormais une notion abstraite, il impacte les ouvrages existants obligeant ainsi maîtres d'ouvrage et entreprises à repenser ensemble la résilience des projets ; la contribution de l'entreprise à la vie et à l'économie locale constitue également une attente émergente.

Ce contexte a conduit les entreprises du Tramaf à placer les attentes de leurs collaborateurs et des parties prenantes de leurs projets au cœur même du développement de l'entreprise.

Le Tramaf a ainsi élaboré une Charte RSE en retranscrivant les engagements pris par nos entreprises adhérentes qui se retrouvent dans des valeurs communes.

La Charte s'articule autour de cinq grandes thématiques (gouvernance, relations contractuelles, social, environnement et ancrage local), chacune précisée par un certain nombre d'engagements. Elle a été adoptée en septembre 2020 à l'unanimité lors de notre assem-

© FLOPROD

8



© LYBELLULE

9



7- Chantier du second ponton Fremm dans le bassin n°4 de la base navale de Brest (ETPO).

8- Travaux de modernisation du barrage de Poses, sur la Seine, dans l'Eure (VCMF).

9- Bateau nettoyeur sur la Seine (VCMF).

10- Modernisation et fiabilisation des écluses de Tancarville pour Haropa Port du Havre (ETPO).

11- Travaux sur la digue du large dans le port de Marseille-Fos.

blée générale et elle constitue désormais un élément conditionnel pour adhérer au syndicat afin d'affirmer l'exemplarité d'une profession responsable.

### Et le GIE Dragages-Ports ?

La gestion du dragage des ports s'effectue au travers d'un GIE dont l'existence a été officialisée en 1979 par la création du groupement d'intérêt économique GIE Dragages-Ports dont les membres sont l'État (51%), qui est également propriétaire des dragues et les sept grands ports maritimes métropolitains (Dunkerque, Le Havre, Rouen, Nantes-Saint-Nazaire, La Rochelle, Bordeaux et Marseille) ainsi que la Région Hauts-de-France.

Sa vocation était d'optimiser les coûts de dragage d'entretien : il assure la constitution, la maintenance et le renouvellement d'un parc de dragues et

## L'ENGAGEMENT ENVIRONNEMENTAL

**Le secteur, fort utilisateur de bateaux, vise à être un acteur engagé pour la croissance verte. Plusieurs solutions sont aujourd'hui à l'étude par les entreprises du Tramaif pour réduire leurs émissions de CO<sub>2</sub> et diminuer les factures de carburant.**

**MONITORING POUR UNE BONNE ÉCO-CONDUITE :** le monitoring réalisé sur des unités flottantes - bateaux nettoyeurs, pousseurs et multicats - et pelles démontrent que nous pouvons diminuer la consommation de gasoil de 40% en agissant uniquement sur deux leviers :

- Un calage dans la durée du fonctionnement moteur sur le point optimal (meilleur rapport vitesse / couple / puissance) qui conduit à abaisser la vitesse de 1 km/h seulement ;
- Un temps de ralenti élevé ramené à 20% de la durée de travail.

**UTILISATION DES GROUPES ÉLECTROGÈNES À QUAI :** l'arrêt de l'utilisation des groupes électrogènes à quai (3 à 4 h par jour). Pour la vie à bord, leur remplacement est alors assuré par des branchements électriques sur quai ou par des batteries embarquées et chargées en cours de navigation.

Ce dispositif a montré que près de 8 à 10% de la consommation globale du bateau pouvait ainsi être économisée.

**DES SOLUTIONS EN COURS DE TEST... :** s'intéresser aux nouvelles énergies et expérimenter les carburants GTL et Oléo 100 pour certains bateaux. Les premiers résultats font état d'une forte réduction de CO<sub>2</sub> et de particules fines.

**... ET D'AUTRES À L'ÉTUDE :** la possibilité de retrofit de bateau existant en Diesel électrique.

d'engins de services le mieux adapté possible aux besoins des ports. Le GIE met les dragues à disposition des Grands Ports Maritimes en s'assurant du meilleur emploi possible de l'ensemble du parc. De leur côté, les Grands Ports Maritimes remplissent le rôle d'armateur des navires : à ce titre notamment ils recrutent les équipages et organisent les opérations de dragage d'entretien. Cela revient à dire que les entreprises françaises de dragage privées sont écartées du marché du dragage d'entretien des ports et ne peuvent se

voir attribuer ces marchés nationaux. Elles sont en outre écartées du marché international, faute de pouvoir investir dans l'acquisition des matériels spécifiques aux ports, difficiles à amortir sans marché national. À l'inverse de ce qui se passe en Belgique et aux Pays-Bas où ce sont les entreprises privées qui ont cette charge, et qui, sur la base d'un marché national captif important, ont pu se développer à l'international. Notre volonté, depuis toujours, est d'ouvrir ce marché à la concurrence afin de réaliser à terme une part importante

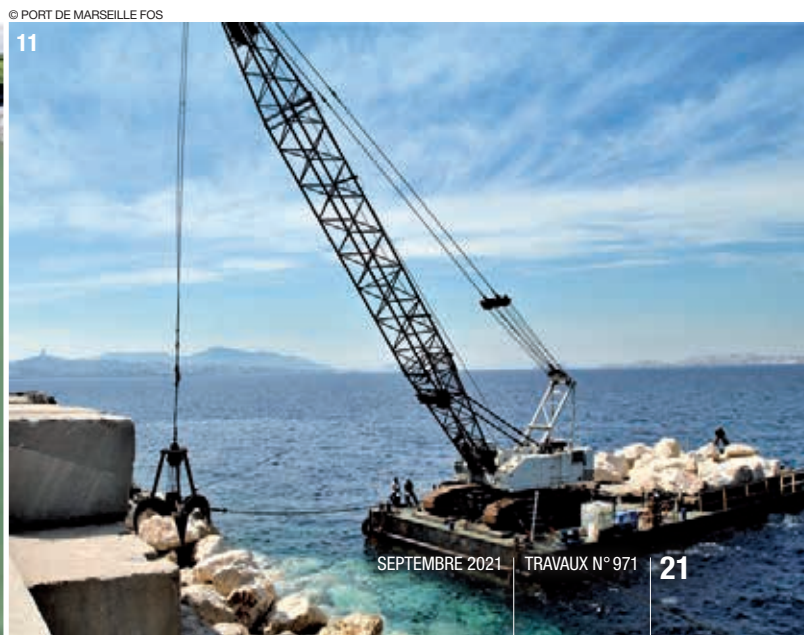
des prestations de dragage des ports français.

La création du GIE, au début des années 80, a autorisé un renouvellement important de la flotte de dragage. Cette organisation a permis le maintien du pavillon français dans les travaux de dragage de nos ports, par une économie d'échelle appréciable. Mais le vieillissement progressif du parc des dragues ne leur permet plus d'atteindre les performances techniques appropriées.

Nous pensons que cela devrait conduire l'État à engager une réflexion d'ensemble de façon à arrêter, à un horizon relativement rapproché, des orientations aptes à assurer non seulement le maintien, mais aussi le développement de l'activité française de dragage, qui évolue dans un contexte de concurrence très vive, d'autant que les derniers matériels acquis par le GIE n'ont pas été construits en France, ce qui ne correspond plus à la vocation initiale du GIE lors de sa création.

Le décret sur l'économie bleue, qui doit entrer en vigueur à partir de 2025, va faire évoluer sensiblement les méthodes de dragage à travers l'interdiction de clapage en mer. Cela induira le développement de nouveaux métiers qui ne relèveront plus du seul dragage portuaire mais entreranno dans le champ des entreprises de Travaux Publics. En effet, le clapage en mer des sédiments extraits lors d'opérations de dragage fait face à des oppositions de plus en plus fortes. Il est raisonnable de penser que cette pratique sera limitée dans les années à venir.

Cependant, le retour à terre des sédiments soulève la question de leur stockage. En effet, plus de 50 millions de m<sup>3</sup> de sédiments sont dragués chaque année pour la création ou l'en- ▷



tretien d'infrastructures portuaires, de canaux, etc.

Ramenés à terre, ces matériaux sont considérés comme des déchets par la directive cadre déchets (2009/98/CE du 19 novembre 2008). S'il ne peut être envisagé d'autres solutions que le stockage pour une fraction de ces matériaux du fait de leur pollution, des alternatives peuvent être mises en œuvre pour les traiter avec des filières de tri, de traitement et de valorisation en substitution de ressources non renouvelables.

Alors que les plans régionaux de gestion de déchets sont en cours d'élaboration ou d'adoption et que l'acceptabilité sur les territoires d'ouvertures et d'extension de carrières ou d'installations de concassage est remise en cause, il importe d'encourager ces alternatives.

Notre syndicat est particulièrement favorable à la mise en place d'une sortie de statut de déchets pour les sédiments. En effet, cette disposition doit permettre de mettre sur un même pied d'égalité les matériaux naturels et les matériaux issus du recyclage, encourageant ainsi le développement d'une filière vertueuse sur le modèle de l'économie circulaire.

Cependant, il a choisi également de mettre en lumière les valorisations possibles sous statut de déchets au travers d'exemples et d'affirmer ainsi le savoir-faire des entreprises dans le domaine de la valorisation et du respect de l'environnement.

**Cela permet d'aborder la question de la valorisation des sédiments. Quelles sont les actions du Tramaf à ce sujet ?**

Les dragages nautiques produisent des quantités importantes de matériaux qui



12 © TRAMAF

ont vocation à être réutilisés dans les travaux publics. Actuellement, la législation européenne classe le plus souvent ces matériaux comme des déchets.

Les entreprises du Tramaf ont fait le choix de promouvoir le développement de solutions de valorisation de ces matériaux qui s'inscrivent au cœur même du principe d'économie circulaire. En effet, ces solutions permettent de concilier avec brio enjeux économiques et enjeux environnementaux. Nous avons décidé de mettre en lumière le savoir-faire de nos entreprises dans ce domaine au travers d'une série de fiches disponibles sur notre site Internet.

Ces fiches ont pour objectif de proposer aux bureaux d'études et aux maîtres d'ouvrage quelques exemples du potentiel de réutilisation des sédiments. Depuis la fin de l'année 2020, les textes d'application de la loi "anti-gaspillage pour une économie circulaire" permettent une sortie de statut de déchet de ces ressources. Cette

**12- Le Tramaf met le cap sur la RSE pour préserver l'avenir des générations futures.**

**13- Terrassement dans la Seine pour l'élargissement de la zone d'évitage à Hautot-sur-Seine afin de faciliter la manœuvre des navires à plus fort tirant d'eau (245 m de long).**

**14- Scaphandrier au travail.**

**15- Chantier d'extension du port de Sept-Îles au Québec, sur la rive Nord du golfe du Saint-Laurent.**

**16- Dépose du tunnel-porte de l'écluse François 1<sup>er</sup> au Havre.**

ouverture est encadrée par les prescriptions des guides produits par le Cerema en technique routière ou en travaux maritimes et fluviaux, mais également par un renforcement de la traçabilité et du contrôle. Sans discrimination de leur statut, toutes ces dispositions concourent à mettre sur un pied d'égalité les matériaux naturels et les matériaux issus du recyclage, encourageant ainsi la généralisation de pratiques vertueuses dans les projets de construction. Nos entreprises ont déjà quelques expertises de réalisations sur le sujet. Ces réalisations font l'objet de plaquettes largement diffusées.

**Concernant les ouvrages maritimes et fluviaux, les investissements et la programmation en termes d'entretien sont-ils bien adaptés à l'état du patrimoine ?**

Nous disposons en France d'un patrimoine d'infrastructures portuaires et fluviales exceptionnel dont une grande partie date du temps de Colbert, notamment les canaux. Ce patrimoine, il faut le maintenir en exploitation mais il faut aussi l'entretenir d'autant qu'il est en parfaite adéquation avec les transports "mode doux" et la réinvention de la logistique du transport.

En l'espèce, ces ouvrages - ports, quais, écluses, canaux, barrages fluviaux, berges avec des enjeux de restauration écologique - se situent très fréquemment en aveugle, sous le plan d'eau, et les conséquences sont identiques à celles que connaissent les ouvrages d'art.

Il n'existe pas de données publiques, sinon localement, sur l'état de ces ouvrages.

Encore faut-il faut convaincre les gestionnaires et les pouvoirs publics de l'urgence de maintenir un niveau



© HAROPA PORT DE ROUEN

13



© VCMF

14



d'équipements sûrs, qui contribuent au développement économique du pays. Avec des dotations budgétaires en baisse, une faible dynamique des ports français, tous les indicateurs passent au rouge ; les travaux maritimes et fluviaux ne représentent aujourd'hui qu'une infime partie du volume des travaux publics en France, de l'ordre de 400 à 500 millions d'euros, au regard de 40 milliards pour l'ensemble du secteur. Pourtant, la France bénéficie de multiples ouvertures maritimes, d'un grand nombre de ports et d'un réseau de navigation fluvial conséquent. Nous disposons d'un patrimoine d'infrastructures d'une valeur immense, bâti courageusement sur plusieurs siècles par des entrepreneurs publics ou privés. Quand bien même le rythme de construction d'infrastructures neuves diminue, il nous appartient de léguer un patrimoine aux générations futures, suffisamment moderne pour permettre au pays de saisir l'immense potentiel de croissance, d'emploi et de transition écologique qui nous tend les bras. Force est de constater que, malheureusement, nos infrastructures existantes se dégradent par manque d'entretien. L'absence de travaux de régénération aujourd'hui finira par coûter beaucoup plus cher demain quand il faudra reconstruire.

Il est temps de répondre par un grand programme de développement et d'investissement. Cela passe irrémédiablement par un diagnostic de nos infrastructures existantes. Nous avons décidé, au sein du Tramaf, d'être acteurs de cette prise de conscience et d'aider les décideurs en réalisant nous-mêmes un recensement de ces ouvrages maritimes et fluviaux à l'instar de ce qu'a fait le STRRES<sup>(3)</sup> pour les ouvrages d'art.

### Quelle est la position du Tramaf face au développement des Energies Marines Renouvelables (EMR) ?

À terre, les Energies Marines Renouvelables nécessitent un renouvellement d'infrastructures portuaires, source d'activité pour nos adhérents. En mer, la construction d'éoliennes offshore nécessite des moyens matériels et navals colossaux.

C'est un marché sur lequel les entreprises d'Europe du Nord, belges et néerlandaises en particulier - ou leurs filiales françaises -, occupent des positions dominantes, la plupart des entreprises françaises ne possédant pas les moyens requis pour répondre aux appels d'offres relatifs aux EMR. Nous espérons que la sous-traitance locale se développera autour de ces projets et qu'une part des travaux sera réservée aux entreprises locales et régionales. Pour les travaux en mer, les entreprises françaises ne sont pas encore très présentes en raison de la taille des matériels à mettre en œuvre pour réaliser la mise en place des fondations offshore.

Par contre, les infrastructures portuaires nécessaires à la construction de ces champs d'éoliennes représentent un volume de travaux non négligeable. Des chantiers sont en cours sur les ports de Brest, Cherbourg, du Havre et Saint-Nazaire de manière à accueillir ces nouvelles entreprises et ces nouveaux métiers. Ce sera aussi le cas en Méditerranée pour le projet d'éoliennes flottantes.

### Quels sont les défis auxquels fait face le Tramaf en 2021 ?

Le premier de tous est l'environnement. En ligne avec l'accord de Paris signé par la France en 2015, nous

devons réduire nos émissions de gaz à effet de serre par une modernisation de la flotte vers un mode de transport bas carbone.

Nous nous y appliquons et des solutions sont déjà à l'œuvre.

Il y a six ans, la France signait l'accord de Paris, s'engageant ainsi à atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. Un objectif ambitieux qui devra se traduire par une réduction de 30% des émissions du secteur des transports d'ici à 2030.

Si la navigation fluviale est déjà une alternative environnementale plus vertueuse que le transport routier, en émettant en moyenne 4 fois moins de CO<sub>2</sub> à la tonne-kilomètre, elle se compose encore majoritairement de bateaux à moteurs d'ancienne génération, gros consommateurs de gazole. Il y a donc là une marge de progrès considérable.

Les chargeurs et armateurs qui ont déjà amorcé le virage de la transition énergétique l'ont bien compris. Nombre de projets de motorisation verte ont ainsi été lancés pour permettre à une flotte décarbonée de naviguer dans les prochaines années.

Toutes ces opportunités sont autant de chances pour nous, entreprises du Tramaf, d'entamer la baisse de notre empreinte carbone qui, faut-il le rappeler, s'impose comme l'un des leviers essentiels de notre première charte RSE. □

1- L'UMTM regroupe, outre le TRAMAF, les syndicats de spécialités SPETSF (travaux souterrains) ; SPTF (travaux de terrassement) et SOIFFONS (travaux de consolidation de sol et fondations).

2- Le guide est disponible en téléchargement gratuit sur : [www.tramaf.fr](http://www.tramaf.fr)

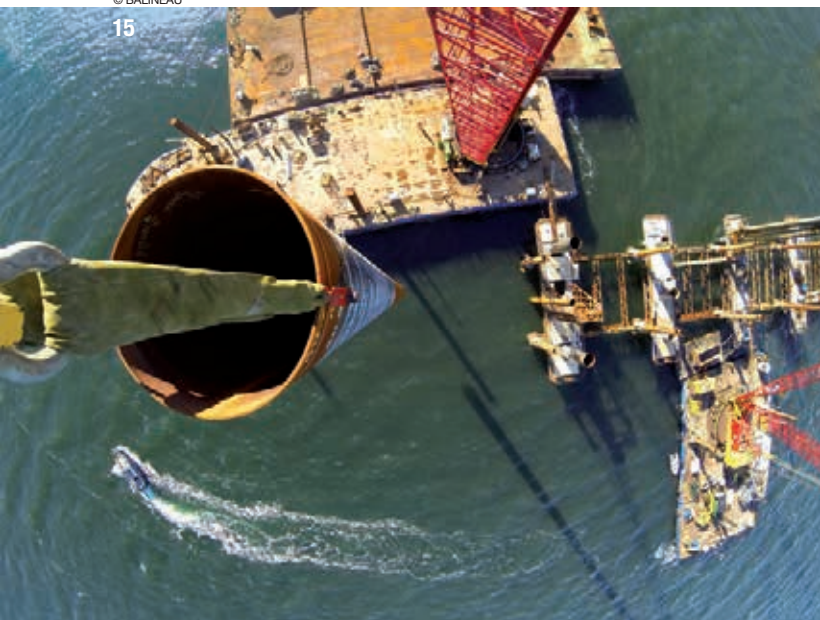
3- STRRES : Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de Travaux de Réparation et de Renforcement des Structures.

## TRAMAF : LES ADHÉRENTS

- Alsacienne de Renflouement et Sauvetage (SARS)
- Atlantique Dragage
- Balineau
- Bouygues Travaux Publics Régions (France)
- Buesa TMF
- CAN
- Charier GC
- DTM (ancien Libaud)
- Durmeyer SAS
- Eco Systèmes de Dragage
- Eiffage Génie Civil Marine
- ETMF (Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux)
- Etchart Construction
- ETPO (Groupe)
- Extract
- Garelli TP
- Guintoli
- Hydrokarst
- Leduc TP
- Maïa Fondations
- Marc SA
- Ré TP
- Sethy
- Société de Dragage International (SDI)
- Sodracco International
- Sodranord
- Spada TP
- Spie Batignolles (Calais, Nord)
- Spie Batignolles Génie Civil
- Vinci Construction Maritime et Fluvial (Saint-Nazaire, Villeneuve-le-Roi, Chevilly-Larue)
- Vinci Construction Terrassement
- Membre partenaire : Arcelormittal

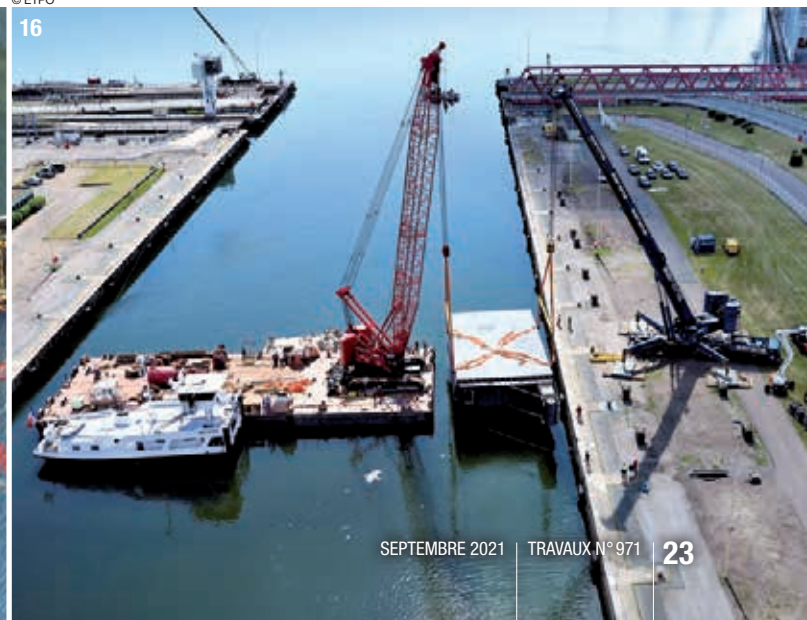
© BALINEAU

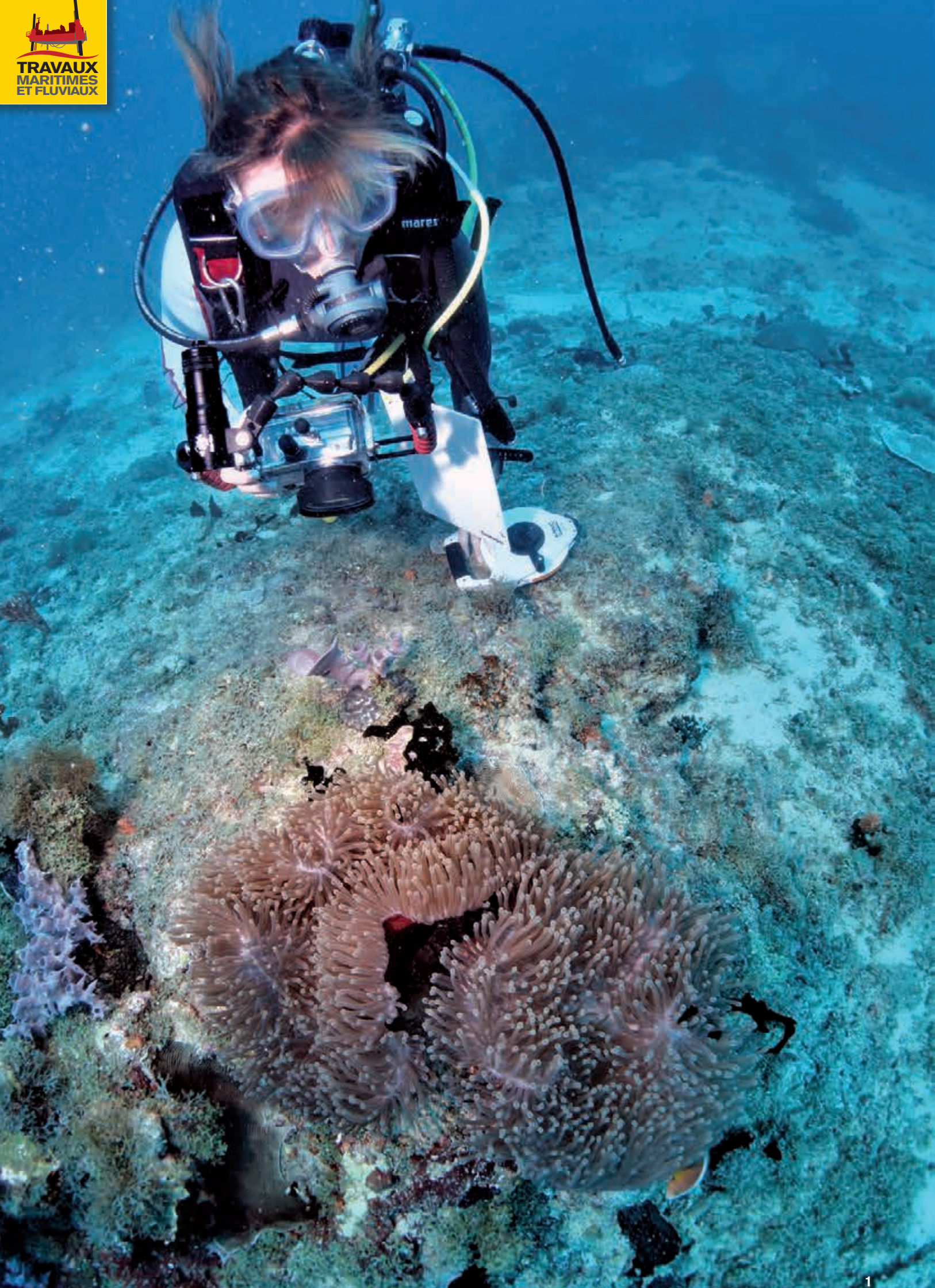
15



© ETPO

16





# SETEC IN VIVO QUAND LE GÉNIE CIVIL PRÉSERVE LE BIOTOPE MARIN

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

CONSTRUIRE DES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL EN MILIEU MARITIME OU CÔTIER NÉCESSITE DÉSORMAIS DE PRENDRE DES MESURES DE PRÉSERVATION À LONG TERME, VOIRE DE RESTAURATION DE LA FAUNE ET DE LA FLORE MARINES. CE À QUOI S'EMPLOIE DEPUIS SA CRÉATION SETEC IN VIVO QUI RÉALISE DE NOMBREUSES ÉTUDES ET INVESTIGATIONS ÉCOLOGIQUES DANS LE CADRE DE TRAVAUX EN MER ET SUR LE LITTORAL, NOTAMMENT DE PROJETS D'ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES, DE POSE DE CÂBLES SOUS-MARINS ET D'AMÉNAGEMENTS PORTUAIRES. CE BUREAU D'ÉTUDE, FILIALE DE SETEC ÉNERGIE ENVIRONNEMENT, POSSÈDE UNE EXPERTISE PARTICULIÈRE DANS LA CRÉATION D'AIRE DE RÉCIFS ARTIFICIELS ET LA TRANSPLANTATION D'HERBIERS DE ZOSTÈRES. DÉCOUVERTE DE CETTE ACTIVITÉ AVEC SON FONDATEUR ET DIRECTEUR PHILIPPE BORNENS.

**IN VIVO** est à l'origine un bureau d'études spécialisé en environnement marin et en océanographie côtière créé en 1997 par Philippe Bornens et Didier Grosdemange, tous deux issus de la recherche publique en écologie marine, en l'occurrence le laboratoire de biologie marine de Concarneau, rattaché à l'époque au Collège de France dans le cadre d'une chaire de biologie cellulaire. Il leur est apparu très vite que, pour les projets littoraux ou portuaires, les données sur l'environnement local étaient quasiment inexistantes à l'inverse de ce qui est disponible pour les projets terrestres pour lesquels les informations disponibles sont nombreuses et précises.

Étant par ailleurs plongeurs professionnels, ils s'orientent donc immédiatement vers une approche "terrain" s'appuyant sur une forte instrumentation afin de caractériser, pour les études d'impact, les états initiaux des sites concernés. Ils représentent et comblent le "trou dans la raquette" existant sur ce type de recherches pour les grands bureaux d'études notamment hydrauliques, plutôt spécialisés en sédimentologie et en géologie, tels que Setec auquel est d'ailleurs intégré In Vivo depuis 2015, qui ne disposaient pas

**1- L'entreprise s'intéresse à tout ce qui touche à l'environnement marin.**

**2- L'entreprise a réalisé et coordonné l'étude d'impact du parc éolien en baie de Saint-Brieuc.**

de ce bras armé "terrain" en biologie marine.

Le démarrage est rapide et In Vivo est amené à se spécialiser dans un premier temps dans les dragages d'entretien pour les ports ou les chenaux surtout sur la façade atlantique pour lesquels il existait nombre de problèmes à résoudre. À l'époque, le processus consiste à faire appel à un

ponton équipé d'une grue et d'un godet chargeant un chalands fendable qui part au large pour déverser les sédiments sans autre forme de constat, ce qui entraîne de plus en plus de réactions de mécontentement de la part des usagers du plan d'eau, essentiellement les pêcheurs mais aussi les plaisanciers.

« Cela correspond également, précise Philippe Bornens, à la caractérisation des sédiments par les Directions Départementales de l'Équipement, en particulier des sédiments portuaires dont les risques de contamination sont liés à leur historique, contenant notamment les composants des peintures antifouling qu'ils renferment, dangereux pour l'environnement en raison de la présence de métaux lourds tels que plomb, mercure, cadmium, zinc, étain... dont la dégradation est très lente et qui sont d'ailleurs désormais interdits.

Il apparaît ainsi que l'issue de ces sédiments, à partir du moment où ils atteignent un certain niveau de contamination ne peut plus être le rejet en mer avant traitement. »

La législation se durcit d'ailleurs à cette époque pour apporter une solution au problème et In Vivo est complètement impliqué dans cette évolution afin de trouver des filières de traitement et de destination.



2  
© SETEC IN VIVO

Le monde du dragage évolue ainsi de façon irrémédiable à telle enseigne qu'aujourd'hui il est très compliqué de s'affranchir de cet historique de sédimentation, en particulier dans les ports de plaisance où l'évacuation des sédiments ne s'effectue pas de façon naturelle et progressive comme c'est plutôt le cas dans les grands ports maritimes implantés pour la plupart en bordure d'un estuaire.

### IMPLICATION DANS LES ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES

Cette première activité d'In Vivo s'applique alors essentiellement au domaine public mais elle s'élargit rapidement avec l'apparition des énergies marines renouvelables - l'éolien en mer - dès la fin des années 90.

« C'est ainsi qu'In Vivo, poursuit Philippe Bornens, s'implique dans tous les futurs projets d'éolien en mer sur des sites plus au large et de grande taille et sa clientèle évolue vers le privé pour répondre aux porteurs de projets, qu'il s'agisse d'énergéticiens indépendants ou de consortiums d'entreprises impliqués dans ce créneau, dès avant même le lancement des premiers appels d'offre et avant que l'État n'intervienne pour structurer les projets. »

In Vivo accompagne nombre de ces projets et réalise, dès 2012, l'étude d'impact complète du projet éolien en mer au large de la baie de Saint-Brieuc attribué à Ailes Marines, société détenue à 100 % par l'énergéticien Iberdrola.

Le parc de Saint-Brieuc, dont la mise en service est prévue en 2023, sera constitué de 62 éoliennes Siemens Gamesa Renewable Energy de 8 Mégawatts, pour une puissance totale de 496 Mégawatts. Les turbines seront réparties sur une surface de 75 km<sup>2</sup>, l'éolienne la plus proche étant située à 16,3 km des côtes bretonnes.

In Vivo intervient aussi, à partir d'avril 2012, pour un consortium mené par EDF Energies Marines Renouvelables, sur l'étude d'impact du parc éolien en mer du Calvados au large de Courseulles-sur-Mer, dont la mise en service est prévue fin 2024.

Le projet se compose de 64 éoliennes en mer pour une puissance totale de 450 MW, localisées à plus de 10 km des côtes du Bessin, sur une surface globale de 50 km<sup>2</sup>.

Elle est également impliquée dans les deux autres projets (en amont des études d'impacts, sur des études d'expertises) de Fécamp, en Seine-Maritime



© MARC MONTAGNON

## PHILIPPE BORNENS : PARCOURS

**Philippe Bornens est de formation universitaire. Il a commencé ses études à Paris XI - Paris-Orsay (1989-1990) dans le domaine de la biologie animale et les a poursuivies et achevées à l'Université d'Aix-Marseille (1990-1991) où il a obtenu un DEA en océanographie biologique et écologie marine tout en effectuant d'ailleurs ses recherches au Laboratoire de biologie marine de Concarneau.**

**Pour la petite histoire, le "vivier-laboratoire", devenu Laboratoire ou Station de biologie marine de Concarneau, a été créé officiellement en 1859. C'est ainsi le plus ancien établissement de recherche marine dans le monde. Géré en co-tutelle par le Muséum d'Histoire Naturelle (MNHN) et le Collège de France entre 1996 et 2005, il dépend désormais uniquement du Muséum d'Histoire Naturelle.**

**Après son service national effectué dans l'Est de la France, Philippe Bornens revient au Laboratoire de biologie marine de Concarneau pour y soutenir un doctorat sur l'écologie appliquée aux estuaires bretons (1993-1997) et commencer une carrière consacrée à l'environnement marin et à sa préservation.**

**Il y rencontre Didier Grosdemange, spécialiste des substrats rocheux avec lequel ils décident de créer "In Vivo" en 1997.**

**La société prend alors rapidement son essor jusqu'à atteindre une taille critique qui les décide à se rapprocher de Setec pour continuer leur développement en s'appuyant sur une structure de dimension et de réputation internationales.**

**C'est ainsi que "In Vivo" devient filiale à 100 % de Setec énergie environnement en 2015 et prend le nom de "Setec In Vivo".**

**Philippe Bornens est Directeur de Setec In Vivo.**



© SETEC IN VIVO

**3- Philippe Bornens, directeur de Setec In Vivo.**

**4- Setec In Vivo intervient dès l'acquisition des données en mer.**

et de Saint-Nazaire, en Loire Atlantique, également attribués à un consortium mené par EDF Energies Marines Renouvelables.

Le projet de Fécamp se compose de 71 éoliennes en mer pour une puissance totale de 500 MW. Les éoliennes seront localisées entre 13 et 22 km au large de Fécamp, sur une surface globale de 60 km<sup>2</sup>.

Le projet de Saint-Nazaire se compose de 80 éoliennes en mer d'une capacité unitaire de 6 MW pour une puissance totale de 480 MW qui seront localisées à plus de 12 km au large de la Loire-Atlantique, sur une surface globale de 78 km<sup>2</sup>.

La structure d'In Vivo est en pleine croissance à telle enseigne qu'elle s'équipe du navire océanographique "Côte d'Aquitaine", acheté au Domaine maritime public et rebaptisé "Atlantic Surveyor" lui permettant de travailler 24 heures sur 24 sur les sites au large des côtes et de s'affranchir des contraintes liées à l'affrètement d'un navire à la journée. Elle est le premier bureau d'études à disposer d'un navire hauturier opérationnel à temps complet pour multiplier les mesures : biologie marine, géophysique, sonar latéral, bathymétrie multi-faisceaux...

### RAPPROCHEMENT AVEC SETEC

À ce stade de développement, une taille critique est atteinte : In Vivo y est confrontée car les négociations avec les maîtres d'ouvrage impliquent des garanties que, compte tenu de sa taille et de sa structure financière, elle n'est pas en mesure de proposer.

« Nous nous sommes aperçus qu'en tant que PME, il nous serait difficile de continuer à traiter avec des opérateurs de la taille d'Iberdrola ou d'EDF Energies Marines Renouvelables. Le montant de l'étude d'impact de ces projets atteignait notre chiffre d'affaires annuel. L'attribution en 2014, dans le cadre du deuxième appel d'offre public des projets éoliens du Tréport et d'Yeu-Noirmoutiers, à Engie/EDP Renewables, nous a conforté dans cette idée. En effet, en dépit de la qualité de notre étude technique, notre taille ne nous



© SETEC IN VIVO

5

a pas permis de remporter cet appel d'offre. »

« À cette époque, dès 2013, des discussions sont déjà engagées avec Setec pour accompagner l'État monégasque sur le dossier de l'extension du port de Monaco. Ce que nous faisons avec succès, lors du premier marché qui concerne le choix du candidat jusqu'à la signature du traité en 2015. »

« En 2015, lors du lancement du deuxième appel d'offre relatif à la réalisation des ouvrages, nous prenons la décision de rejoindre Setec en nous spécialisant sur les nouveaux métiers porteurs que constituent les suivis environnementaux en phase de construction, mais aussi en phase d'exploitation, des chantiers d'éolien marin. »

Il s'agit là de sujets structurants pour la jeune PME et cela donne du sens

**5- L'entreprise est impliquée dans tous les projets actuels et futurs d'éolien en mer.**

**6- Le projet du nouveau terminal EMR du port de Brest.**

à son rapprochement avec Setec, qui n'est évidemment pas le fait du hasard. Setec est l'un des rares grands bureaux d'études français qui soit complètement indépendant dans son actionnariat - il appartient à ses cadres - et les valeurs humaines et sociétales qu'il véhicule sont proches de celles d'In Vivo. Cela correspond de plus à sa

volonté de se développer sur le maritime notamment au travers de sa filiale Setec International, déjà très impliquée dans les études d'environnement, les études d'impact et les études paysagères.

#### DIGUE D'ENCLÔTURE DE BREST : ÉCO-CONCEPTION DES OUVRAGES

L'évolution de la législation, en particulier l'application de la loi MOP traitant et mettant en relation la maîtrise d'ouvrage publique avec la maîtrise d'œuvre privée, contribue de son côté, dès la fin des années 90 à une modification des rapports entre public et privé.

Un bon exemple est donné par l'attribution du marché du lot M 02 de la digue d'enclôture du port de Brest entamé en 2017.

« Dans le cadre du projet de développement du port par la Région Bretagne, indique le directeur de Setec In Vivo, plusieurs sociétés du groupe Setec, Terrasol, Setec International, Setec Hydratec et Setec In Vivo, ont accompagné Bouygues TP RF lors des phases d'appel d'offres puis d'exécution, pour la réalisation d'une nouvelle digue d'enclôture de 860 m de longueur. La digue se refermera sur le nouveau quai en cours d'aménagement permettant ainsi la création d'un futur polder de 14 ha destiné aux activités de la filière EMR. »

La digue est composée d'une succession d'enceintes circulaires en palplanches plates (AS-500) appelées gabionnades (26 gabions et 25 festons), recouvertes côté mer par un talus en enrochement. Cette solution variée proposée par l'entreprise a remplacé la digue en remblai prévue initialement.

La géologie dans le secteur du port de Brest est constituée de formations alluvionnaires récentes de faciès vasards d'une dizaine de mètres d'épaisseur caractérisées par une forte compressibilité, et d'un substratum schisteux. La solution adoptée permet de maintenir les vases en place avec l'installation d'un réseau de drains verticaux (415 km de linéaire) sur la hauteur des sédiments pour accélérer la consolidation et anticiper les tassements primaires et secondaires de l'ouvrage global.

« Sur ce chantier, nous étions en charge de l'ingénierie et du suivi environnementaux du chantier de Bouygues TP en y intégrant de l'éco-conception avec des ouvrages dont la seconde nature, en plus du maintien des sédiments, est d'accueillir de la biodiversité locale. » ▽



© PORT DE BREST

6



7

© BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

### L'ANSE DU PORTIER À MONACO : HAUTE SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE

L'une des réalisations les plus significatives de Setec In Vivo est le chantier de l'extension sur la mer de Monaco pour lequel Setec est assistant technique de l'État. Sur ce chantier, l'État monégasque n'est pas l'investisseur mais le concédant à un groupement constructeur SAM Anse du Portier - Bouygues TP piloté par Bouygues TP en ce qui concerne les infrastructures en mer, la supervision de l'ensemble du chantier ayant été confiée par l'État à Setec et à plusieurs de ses filiales, dont Setec In Vivo pour la faisabilité, l'étude d'impact, les travaux écologiques préparatoires, les mesures de réduction et de compensation, les suivis environnementaux.

Coincé entre la France et l'Italie, Monaco se sent à l'étroit avec sa superficie de 2,02 km<sup>2</sup> et veut agrandir son territoire. En somme, Monaco tente toujours de gagner plus de mètres carrés pour pouvoir assouvir son besoin

d'urbanisation et de développement. L'extension de Monaco par la mer est par ailleurs un projet d'urbanisation ambitieux. Il s'agit en fait de créer un nouveau lieu de vie d'environ 6 hectares via un prolongement sur la mer. Le projet prend en compte le côté développement durable ainsi que la protection de l'environnement. Il comprend des logements, des équipements publics, un parking public, un port d'animation, l'extension du Grimaldi forum, un parking public, un parc végétalisé ainsi qu'une promenade littorale avec un jardin japonais.

L'infrastructure maritime, qui permettra le développement d'un nouveau quartier de la Principauté de Monaco, est constituée d'un terre-plein entouré d'une ceinture de protection composée de 18 caissons en béton armé posés sur un remblai sous-marin. Pour réaliser cette extension en mer, Bouygues Travaux Publics a mis au point des méthodes constructives inédites et innovantes qui ont notamment pour objectifs de réduire l'impact du chan-

**7- Le chantier de l'Anse du Portier à Monaco avec la ceinture de caissons préfabriqués.**

**8- Premières reconnaissances pour le projet d'extension en mer de l'Anse du Portier.**

**9- Les faces extérieures des caissons possèdent des rainures de 15 mm de profondeur pour permettre aux plantes, algues ou invertébrés de s'y accrocher.**

à l'aide d'une usine flottante et submersible, le caissonnier Marco Polo. Équipement unique en France, conçu spécifiquement pour les besoins de ce chantier hors-norme, cet engin fonctionne par faible tirant d'eau et peut être coulé et relevé rapidement, lui permettant une productivité élevée. Il dispose en outre d'un système de ballastage automatique innovant, qui lui garantit une meilleure stabilité.

« Le chantier a fait l'objet d'un suivi particulièrement exigeant en raison des objectifs environnementaux fixés par la Principauté. Diverses mesures ont ainsi été mises en place pour préserver les ressources marines, maintenir la qualité des eaux ou encore réduire les nuisances sonores et vibratoires. »

Le défi environnemental a été pensé jusque dans la conception et la préfabrication des caissons à Marseille : leurs faces extérieures des possèdent des rainures de 15 mm de profondeur pour permettre aux plantes, algues ou invertébrés de s'y accrocher. Des herbiers artificiels et des murets rocheux

tier sur l'environnement et de préserver le patrimoine naturel marin de la Principauté.

Hauts de 26 mètres et pesant 10000 tonnes chacun, les 18 caissons en béton armé ont été construits dans le Grand Port Maritime de Marseille



8

© BIRDEYECAM



9

© MONACO INFO



10

© SETEC IN VIVO



11

© SETEC IN VIVO

**10- Setec In Vivo a assisté depuis 2013 l'État monégasque sur les sujets d'environnement marin pour le groupe-ment constructeur (SAM Anse du Portier / Bouygues TP).**

**11- L'entreprise s'intéresse à tout ce qui touche à l'environnement marin.**

**12- La pose de câbles sous-marins est un autre sujet sur lequel elle est impliquée.**

**13- Setec In Vivo a réalisé les études environnementales et le suivi de l'atterrage du câble internet AVASSA à Mayotte.**

seront ensuite installés pour y développer la colonisation de diverses espèces. L'extension du territoire monégasque se fait dans le respect de l'écosystème marin.

## DE LA DIVERSITÉ DE LA PROTECTION DE L'UNIVERS MARIN

Bien que toutes les interventions de Setec In Vivo soient liées à l'univers marin et à sa protection, elles reflètent une diversité que les quelques exemples suivants, complémentaires des chantiers évoqués dans le reportage - Saint-Brieuc, Brest, Monaco... -, mettent bien évidence.

Au Maroc, Setec In Vivo a conçu deux projets de récifs artificiels de grande ampleur en vue de développer la ressource halieutique pour le ministère de la Pêche : déploiement en mer de plus de 5000 modules éco-conçus sur le site de Martil (Méditerranée) et Agadir (Atlantique) ainsi que réalisation d'un champ de récifs artificiels pour la petite pêche, au large de Boudinar.

En Bretagne, la société gère les opérations concertées de dragages d'entretien pour les principaux maîtres d'ouvrage de la rade de Lorient dans le but de planifier et mutualiser les opérations sur les 10 prochaines années. L'objectif est de qualifier le gisement, définir les filières et proposer un mode de gouvernance.

En Corse, Setec In Vivo a réalisé l'étude du milieu marin et l'évaluation des impacts de la pose d'une nouvelle conduite de pompage et de rejet d'eau en mer pour refroidir la centrale EDF d'Ajaccio. Une cartographie par sonar, complétée par des investigations en plongées sous-marines et des prélèvements de benthos ont permis d'étudier le volet "milieu vivant" de l'étude d'impact.

En Asie, la société réalise actuellement les études environnementales et le suivi de l'atterrage du câble internet AVASSA à Mayotte, pour le compte de Huwaei (Chine). Les missions ont permis de choisir la route de moindre impact en préservant les massifs coraliens. La mission s'est poursuivie par l'obtention des autorisations administratives et le suivi des travaux de pose du câble.

### RÉCIFS ARTIFICIELS

Les récifs artificiels sont souvent proposés dans les mesures compensatoires en Méditerranée, avec souvent comme objectif écologique de servir de support à la flore et la faune du coralligène.

Le coralligène est l'un des biotopes remarquables de la Méditerranée et constitue un écosystème majeur au-delà de 30-40 m de profondeur.

Le coralligène est un écosystème sous-marin caractérisé par l'abondance d'algues calcaires, dites algues coralligènes, capables de construire, par superposition d'encroûtements ou par accumulation de dépôts, des massifs comparables aux massifs coralliens.

L'analogie avec les coraux est à l'origine du nom "coralligène", qui "signifie producteur de corail". Diverses espèces animales à squelette calcaire : éponges, gorgones, ... peuvent également être associées à ces constructions biogéniques.

La croissance du coralligène est très lente. Les massifs ne se développent qu'à partir de certaines profondeurs car les algues qui les édifient craignent une trop forte lumière : ce sont des algues sciaphiles. Les principales espèces constructrices sont des algues rouges qui appartiennent ▷



12

© SETEC IN VIVO



13

© SETEC IN VIVO

**14- La mise en place du câble SACCOI3 est surveillée de très près par Setec In Vivo.**

**15- Le tracé du projet de câble SACCOI3 (EDF/ Terna).**

**16- État de référence du milieu vivant en baie de Lannion pour le projet d'extraction de granulats en mer.**

**17- Photogrammétrie sous-marine : suivi de chantier du Larvotto.**

aux familles des Corallinaceae ou des Peyssonneliaceae.

« À Monaco pour un projet de la Direction de l'environnement (sans rapport avec l'extension en mer), nous avons produit avec l'aide d'une startup faisant de l'impression béton 3D (XtreeE), des récifs grottes ainsi que des panneaux simulant des encoffrements coralligènes pouvant être installés sur des ouvrages.

Il n'est pas possible de réaliser des projets de ce type sans savoir ce que la nature est capable de nous offrir. C'est la raison pour laquelle les constructeurs ont besoin de bureaux d'études spécialisés tels que le nôtre pour analyser l'environnement et définir des objectifs écologiques atteignables. D'autres mesures de compensation similaires ont d'ailleurs été mises en place par Setec In Vivo, à l'île d'Yeu, en Bretagne ainsi qu'autour de certains des projets éoliens en mer auxquels elle a participé et qui comportent des "corridors" écologiques permettant une connectivité de proche en proche de certaines espèces ce qui assure l'existence et le développement de l'écosystème recherché. Ce que nous nous efforçons de réaliser, ce sont des systèmes qui soient écologiquement viables, de créer des niches écologiques, en prenant la colonne d'eau sur toute sa hauteur, ce qui n'est d'ailleurs pas toujours en adéquation avec les objectifs de nos donneurs d'ordre. »

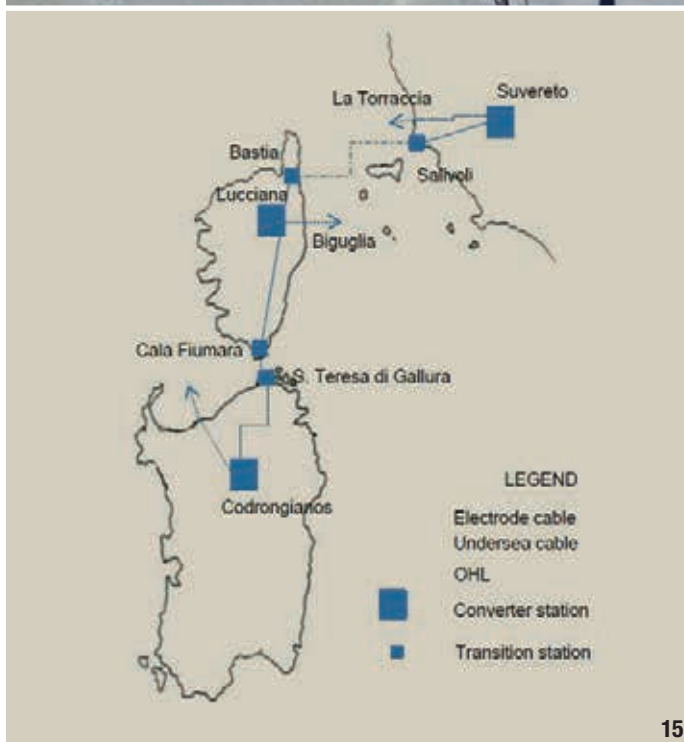
À l'île d'Yeu, par exemple, des récifs artificiels ont été mis en place afin de favoriser la pêche locale tout en limitant, voire en empêchant l'accès des navires effectuant la pêche de masse au chalut.

Il est également prévu d'en installer sur les embases métalliques - les jackets -



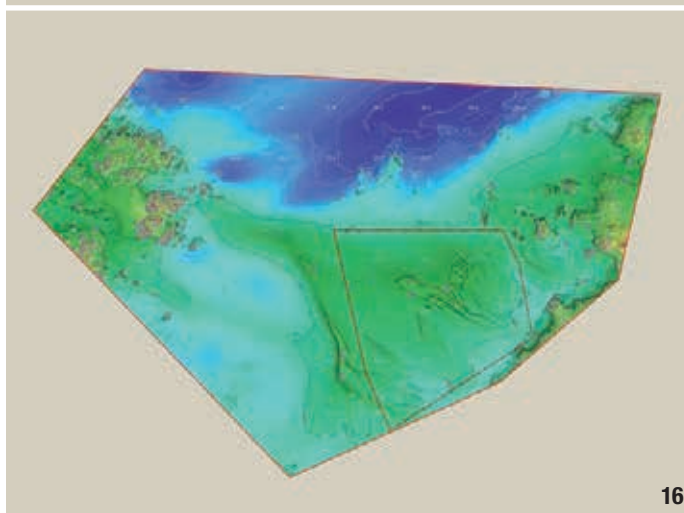
14

© HYDROCONSULT



15

© TERNA



16

© SETEC IN VIVO



17

© SETEC IN VIVO

de certains des projets d'éolien en mer. Pour les projets éoliens de Saint-Brieuc<sup>(1)</sup> et d'Yeu-Noirmoutiers<sup>(2)</sup> et Dieppe-le Tréport<sup>(3)</sup>, Setec In Vivo travaille sur des suivis à long terme sur la ressource halieutique, en lien avec la pêche, mais aussi sur les composantes liées à la turbidité et la sédimentation et, d'une manière générale, sur tout ce qui touche à l'environnement marin.

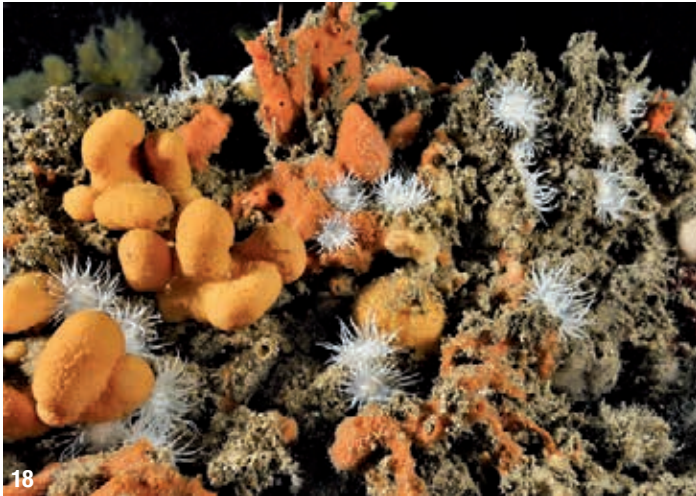
## PROTECTION DES HERBIERS DE POSIDONIES

Setec In Vivo s'intéresse également à d'autres mesures qui vont beaucoup plus loin que celles de compensation : ce sont les mesures de restauration d'une forme de biodiversité qui a disparu parce que l'homme y a laissé son empreinte. La compensation en carbone avec une composante biodiversité constitue l'un des axes de recherche de l'entreprise.

« En Corse, en particulier, indique Philippe Bornens, Setec In Vivo intervient sur la restauration des herbiers de posidonie. La posidonie n'est pas une algue mais une plante à fleurs sous-marine de Méditerranée. Ses peuplements, qui ressemblent à des prairies, sont en réalité des forêts offrant des services sans équivalent à l'échelle de la planète. Venant du fond des âges, la posidonie a survécu aux pires cataclysmes depuis le temps des dinosaures. »

Ecosystème emblématique de la Méditerranée, les herbiers de Posidonies constituent un puit de carbone atmosphérique majeur, à court et à plus long terme. Ils rendent également de nombreux services écosystémiques. Constituée d'un faisceau de cinq à huit feuilles rubanées, de 40 à 80 cm de haut et d'un centimètre de large, disposé à l'extrémité d'un rhizome dressé, elle édifie des structures très particulières, appelées "mattes". Ces structures sont constituées par l'enchevêtrement des rhizomes peu putrescibles et des racines, plus ou moins colmaté par les sédiments, piégés par les faisceaux foliaires. Ces mattes peuvent se conserver pendant des millénaires et atteindre plusieurs mètres d'épaisseur. Philippe Bornens précise le sujet avec sa compétence de biologiste marin : « Une caractéristique commune aux côtes sableuses de Méditerranée est l'accumulation de débris de *Posidonia oceanica*. Ces banquettes, dont 95 % sont constituées par les feuilles mortes, peuvent atteindre plus de 2 m de hauteur et jusqu'à 20 m de largeur. Lorsque les conditions le permettent, le matériel accumulé peut se consolider et





18

© SETEC IN VIVO

**18- Cartographie des habitats Natura 2000 de Dunkerque à Cherbourg pour l'Agence des aires marines protégées.**

**19- Deux projets de récifs artificiels pour développer la ressource halieutique ont abouti au déploiement en mer, à Martil (Méditerranée) et Agadir (Atlantique), de plus de 5 000 modules éco-conçus.**

**20- L'une des équipes au travail... en mer évidemment.**

*donner naissance à une structure très compacte et résistante qui peut rester en place pendant plusieurs années, offrant une protection très efficace contre l'érosion du littoral. En outre, les feuilles mortes de Posidonia oceanica contribuent à la formation des dunes d'arrière-plage, directement, en stabilisant le sédiment et en permettant l'installation de magnoliophytes halophiles et psammophiles, et indirectement en constituant une source d'azote significative pour ces dernières ; ces dunes jouent un rôle essentiel dans la résistance des plages aux tempêtes. »*  
 Afin de protéger ces herbiers, le mouillage des grands navires - plus de 24 mètres - est d'ailleurs interdit en Corse dans les zones où la Posidonie est présente : en effet, la remontée des ancres provoque leur arrachement. Des dégâts énormes ont été causés par ces mouillages.

### INTÉGRATION ENVIRONNEMENTALE DE CÂBLES SOUS-MARINS

La pose de câbles sous-marins est un autre sujet sur lequel Setec In Vivo est très impliqué. Cette activité connaît actuellement un véritable boom et il est nécessaire de s'en préoccuper. En Corse, la mise en place du câble "SACCOI3" de la liaison électrique Sar-



19

© SETEC IN VIVO

daigne + Corse + Italie est surveillée de très près par Setec In Vivo pour le compte d'EDF et Terna<sup>(4)</sup>.

Le projet SACCOI3 consiste à renouveler les stations de conversion de Lucciana en Haute-Corse, Suvereto en Toscane et Codrongianos en Sardaigne, remplacer les câbles existants et réaliser des travaux d'entretien des pylônes de la ligne aérienne existante mais surtout

installer de nouveaux câbles souterrains et sous-marins entre la Sardaigne, la Corse et l'Italie.

Le SACCOI3 traverse des sites remarquables protégés ainsi que des réserves naturelles et il est nécessaire de proposer une batterie de mesures de compensation, notamment de compensation carbone.

La pose de ce câble s'appuie sur trois grandes séquences prises en compte par EDF/Terna : définir une zone de passage évitant, autant que possible, les secteurs à enjeux notamment écologiques ; lorsque l'évitement n'est pas possible, définir des moyens de réduction des effets à mettre en œuvre notamment lors de la phase de chantier ; enfin, en dernier recours, engager des mesures compensatoires pour apporter une contrepartie positive si des impacts négatifs persistent, visant à conserver globalement la qualité environnementale des milieux. Le dossier est en cours de finalisation. □

© SETEC IN VIVO



20

### SETEC IN VIVO EN BREF

**Setec In Vivo a été créée en 1997. Depuis 2015, elle est filiale à 100% de Setec énergie environnement (80 personnes), spécialisée dans l'énergie et l'environnement du groupe indépendant Setec (3000 collaborateurs). Acteur engagé des transformations de notre société au regard des enjeux environnementaux actuels, Setec énergie environnement associe une approche systémique entre énergie et environnement et une expertise pointue sur des projets complexes pour proposer aux porteurs de projet privés et publics en France et à l'international une approche novatrice face aux défis écologiques et énergétiques, à travers trois grands axes : la préservation des milieux, l'optimisation des ressources, la décarbonation et les énergies décarbonées.**

**Setec In Vivo est basée à La Forêt-Fouesnant, dans le Finistère Sud ainsi qu'à Toulon (Var). La société est dirigée par François Pigaux (directeur général) et Philippe Bornens (directeur opérationnel). Elle emploie 19 personnes et a réalisé en 2020 un chiffre d'affaires de 2,6 millions d'euros.**

1- Le projet éolien en mer au large de la baie de Saint-Brieuc est développé par Alies Marines, société détenue à 100% par l'énergéticien Iberdrola. Lauréate en avril 2012 de l'appel d'offres, Alies Marines est en charge du développement, de la construction et de l'exploitation du parc éolien en mer au large des côtes armoricaines (62 éoliennes Adwen).

2- La société Éoliennes en Mer Îles d'Yeu et de Noirmoutier a été désignée en juin 2014 lauréate de l'appel d'offres pour la construction, l'installation et l'exploitation d'un parc éolien en mer au large des Îles d'Yeu et de Noirmoutier (62 éoliennes fabriquées par Siemens Gamesa Renewable Energy).

3- La société Éoliennes en Mer Dieppe Le Tréport (EMDT) a remporté en juin 2014 l'appel d'offres lancé par l'État pour le développement d'un parc éolien en mer au large de Dieppe et du Tréport (62 éoliennes fabriquées par Siemens Gamesa Renewable Energy).

4- Terna - Rete Elettrica Nazionale S.p.A. est une entreprise italienne de transport d'électricité, spécialisée dans l'exploitation et la maintenance de la majorité du réseau d'électricité italien de haute et très haute tension.



© BIPLAN - JÉRÔME HOUYVET

# PORTS DE NORMANDIE STRATÉGIE À L'ÉCHELLE DU DÉVELOPPEMENT DES EMR

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

APRÈS UNE ANNÉE 2020 ÉVIDEMMENT TRÈS PERTURBÉE, PORTS DE NORMANDIE ABORDE 2021 ET 2022 AVEC DE BEAUX PROJETS. LE BREXIT POURRAIT REBATTRE LES CARTES DU TRAFIC TRANSMANCHE ET L'ENTITÉ CONSTITUÉE EN 2019 COMPTE RENFORCER VOIRE DÉVELOPPER SON POSITIONNEMENT DE LEADER À L'OUEST DU DÉTROIT. LES ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES VONT COMMENCER À ACCROÎTRE LE TRAFIC PORTUAIRE, VALIDANT AINSI LA STRATÉGIE DE DÉVELOPPEMENT DE PORTS DE NORMANDIE ET LA PERTINENCE DE SES INVESTISSEMENTS. AVEC BERTRAND MARSSET, DIRECTEUR ADJOINT ET DIRECTEUR DE L'AMÉNAGEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT DE PORTS DE NORMANDIE, LE POINT SUR LES RÉALISATIONS EN COURS ET LES PROJETS À VENIR.

Côté travaux, entre le chantier du Pont Colbert à Dieppe, le remplacement du Pont de Colombelles sur le canal qui relie Caen à la mer et la création d'un terminal de ferroutage sur le port de Cherbourg, les projets ne

manquent pas et sont la marque de la volonté de Ports de Normandie d'investir sur le territoire normand. Début 2019, la fusion des syndicats mixtes "Ports Normands Associés (Caen-Ouistreham, Cherbourg)" et

**1 - Vue d'ensemble du port de Cherbourg.**

"Port de Dieppe" a abouti à la création d'un acteur portuaire unique "Ports de Normandie" qui permet la définition et la mise en œuvre d'une stratégie portuaire à l'échelle de l'ensemble du territoire normand.

**2- Bertrand Marsset, Directeur adjoint et Directeur de l'Aménagement et de l'Environnement de Ports de Normandie.**

**3- Le pont de Colombelles supporte un trafic de l'ordre de 15 000 véhicules/jour.**

Ces trois ports normands, ancrés sur un linéaire côtier de plus de 600 km, sont en passe de devenir l'un des acteurs majeurs du développement des Énergies Marines Renouvelables.

### CAEN-OUISTREHAM : LE PONT DE COLOMBELLES

Le remplacement du pont tournant de Colombelles constitue l'un des budgets majeurs du port de Caen-Ouistreham (20 M€).

Construit en 1958, le pont de Colombelles est aujourd'hui vétuste. Il est impossible de prolonger sa durée de vie au-delà de quelques années, au regard de l'évolution du trafic à venir.

Face à ce constat, la communauté urbaine Caen la mer, la Région Normandie et le Département du Calvados ont décidé de rénover entièrement ce pont, essentiel au désengorgement du trafic routier de l'agglomération caennaise. Bertrand Marsset de préciser : « En 2008, le pont de Colombelles a fait l'objet de travaux visant à prolonger son espérance de vie. Mais en 2016,

© MARC MONTAGNON



2

## BERTRAND MARSSSET : PARCOURS

**Bertrand Marsset est ingénieur de l'École Nationale des Travaux Publics de l'État (ENTPE 1995).**

**Il commence sa carrière comme chef de la subdivision port et aéroport de Cherbourg (DDE 50) entre 1996 et 2000.**

**Entre 2001 et 2006, il est chef du service études et travaux d'infrastructures au Port Autonome de Nantes-Saint-Nazaire (PANSN) avant d'occuper le poste d'adjoint au directeur du développement du PANSN entre 2006 et 2008.**

**Entre 2009 et 2014, Bertrand Marsset devient directeur de l'aménagement et de l'environnement de Ports Normands Associés.**

**En 2014, il est nommé directeur adjoint de Ports de Normandie et directeur de l'aménagement et de l'environnement de cette nouvelle entité, poste qu'il occupe en 2021.**

*une inspection détaillée a mis en évidence une usure importante d'éléments structurels de la charpente métallique. La même année, le vérin principal est tombé en panne, occasionnant de nombreuses semaines de perturbations tan-*

*dis qu'apparaissaient des désordres au niveau des fondations. »*

Compte-tenu du niveau de trafic actuel (environ 15 000 véhicules/jour) et des aménagements en cours et futurs, la fiabilité du pont et de son

fonctionnement doit être garantie. Les collectivités concernées ont tout d'abord confié à Ports de Normandie une réflexion sur la manière de procéder au remplacement du pont de Colombelles, associant les communes directement impactées, Hérouville Saint Clair et Colombelles, au sein d'un comité de pilotage du projet.

Trois scénarii ont été élaborés et c'est le troisième, prévoyant un aménagement en aval de l'emplacement actuel et présentant l'impact foncier le plus réduit, qui a été choisi.

« Plusieurs points vont devoir être pris en considération pour la suite des études. Le pont sera dimensionné pour une vitesse de circulation maximum de 50 km/h. Il sera composé d'une route 2x1 voie (3,25 mètres de large) et intégrera une liaison douce avec piste "piétons-cycles". La passe de navigation sera portée à 40 mètres (au lieu de 30 mètres actuellement), de manière à permettre le passage de navires en toute sécurité et de rendre ainsi homogènes tous les ouvrages du canal de Caen à la mer. »

C'est un ouvrage stratégique pour les collectivités car il se situe dans le prolongement de la desserte portuaire au nord de Caen et dans le secteur d'une ZAC commerciale et d'habitation qui sera prochainement aménagée par la commune d'Hérouville.

### L'AVANT-PORT DE OUISTREHAM

Une consultation d'entreprises est en cours pour aménager l'avant-port de Ouistreham dont le terre-plein du môle Est a déjà été étendu en 2020 pour ▷



3

© MARC MONTAGNON

accueillir la base de maintenance du parc éolien de Courseulles-sur-Mer dont EDF est le lauréat, notamment les pontons à partir desquels EDF embarquera les équipages qui assureront la maintenance des éoliennes en mer. « Dans le prolongement de cette extension, poursuit Bertrand Marsset, l'avant-port va être complètement repensé pour lui redonner des fonctionnalités plus performantes en ce qui concerne les activités qui s'y côtoient : pêche, commerce, plaisance, SNSM, bateaux-pilotes... Des pontons H24 vont être créés pour la base de maintenance EDF, pour la pêche et les navires de



servitude mais aussi pour les bateaux de plaisance. Les travaux de dragage, de rempliement de berges, de création de pontons, de potences de chargement pour les EMR et la plaisance, un nouveau poste d'alimentation en carburant devraient démarrer fin 2021

**4- Le barrage de Montalivet sur l'Orne.**

**5- Philippe Deiss, Directeur général de Ports de Normandie.**

4

© PORTS DE NORMANDIE



© PORTS DE NORMANDIE

### 3 QUESTIONS À PHILIPPE DEISS, DIRECTEUR GÉNÉRAL DE PORTS DE NORMANDIE

PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON

**Depuis 1996, Philippe Deiss, a successivement dirigé les ports de St-Malo, Bordeaux, puis Rouen. Co-fondateur de Haropa, port fluvio-maritime de l'Axe Seine, il en a été le premier président. Il est aujourd'hui directeur général de Ports de Normandie.**

#### **Quelles sont les raisons de la création de Ports de Normandie ?**

La création de "Ports de Normandie" fait suite à la fusion des deux régions Haute et Basse Normandie avec le port de Dieppe en Haute Normandie et Cherbourg et Caen-Ouistreham en Basse-Normandie.

Lorsque les deux régions ont fusionné, le président de région Hervé Morin a souhaité que la logique soit menée à terme afin d'augmenter notre poids au moins sur la scène portuaire nationale, sinon plus, avec une masse critique plus importante.

Cela recouvre aussi bien l'activité portuaire en tant que telle que la cohérence en termes d'investissements avec une stratégie d'ensemble développée non par port mais par branches d'activité : la filière transmanche, la construction et réparation navale, la filière croisière et plaisance, la filière pêche, la filière Energies Marines Renouvelables... qui sont transversales.

Nous développons l'ensemble afin de créer une synergie qui fasse en sorte que la somme des trois soit démultipliée et fasse plus que 1+1+1.

Tous les agents font désormais partie de la même entité. Il n'y a qu'un budget pour les trois ports. Les trois sites ont un poids équivalent à celui du Grand Port Maritime de Bordeaux.

Notre place sur le trafic transmanche est très importante, la première avec l'Irlande ; Il en est de même de celle sur les Energies Marines Renouvelables. Nous avons de la production à Cherbourg, de la maintenance à Caen et bientôt à Dieppe.

Les trois sites de Normandie sont très investis sur l'activité transmanche ainsi que sur l'activité Energies Marines Renouvelables. Ils sont tous les trois en pointe sur l'activité plaisance et tous les trois représentatifs sur l'activité pêche.

#### **Depuis cette fusion, comment votre politique d'investissements a-t-elle été orientée ?**

Depuis le transfert de la gestion de ces ports de l'État aux Collectivités, notre politique a été d'abord de réhabiliter l'outil qui avait souffert d'un manque criant d'investissements pendant des années, puis d'investir sur notre cœur de métier

que constitue le transmanche et enfin d'investir sur l'industrie et de nous projeter dans l'avenir notamment avec les Energies Marines Renouvelables.

C'est ce qui a structuré l'investissement des sites de Ports de Normandie depuis 2007 et qui demeure aujourd'hui encore pertinent.

Il y a évidemment le renouvellement du pont de Colombelles à Caen et du pont Colbert à Dieppe qui représentent un investissement de 35 M€. Sur notre filière essentielle du transmanche, nous avons beaucoup investi sur la mise aux normes des terminaux dans le cadre du Brexit. Il nous reste encore à moderniser les installations toujours pour le Brexit pour rapprocher les postes de contrôle des terminaux portuaires mais aussi pour réaliser un terminal ferroviaire multimodal à Cherbourg pour une liaison que Brittany Ferries entend mettre en place entre Bayonne et Cherbourg.

Sur les Energies Marines Renouvelables, il nous faut construire la base de maintenance du parc éolien de Dieppe/Le Tréport.

Nous avons déjà la base de maintenance du parc de Courseulles-sur-Mer à Ouistreham. Nous avons encore des investissements à réaliser pour agrandir l'usine de pales de LM Wind Power à Cherbourg dont la production atteindra 90 jeux de pales par an.

Notre plan d'investissement concerne également la filière pêche, une activité historique en Normandie et la filière construction/réparation navale sur laquelle sont positionnés des acteurs de rang mondial et des PME.

#### **Quelles sont les premières retombées consécutives à la création de "Ports de Normandie" ?**

La création de "Ports de Normandie" facilite la convergence des politiques de la Région et des Départements en matière d'activité transmanche, de plaisance et de pêche. Cette dynamique d'avenir permet aussi la constitution d'un acteur dont l'activité "commerce" est du niveau de certains Grand Ports Maritimes métropolitains et dont la place de leader de l'activité transmanche à l'ouest du détroit est ainsi confortée. Toutefois, plus que de la "tonne", la vocation de "Ports de Normandie" est de générer de l'emploi et de la valeur ajoutée sur son territoire.

L'émergence de cette entité permet d'accéder à une visibilité portuaire au niveau national - gage, entre autres, d'un meilleur dialogue avec les autorités britanniques dans le contexte actuel de Brexit - et d'augmenter considérablement la capacité de promotion des ports et leur poids dans les diverses instances nationales, voire internationales. Elle permet également d'assurer la pertinence, la cohérence et la complémentarité des investissements des collectivités qui siègent au sein de "Ports de Normandie".



© BIPLAN - STÉPHANE LEROY



© BIPLAN - STÉPHANE LEROY



© BIPLAN - P. LISSILLOUR

et représentent un investissement de l'ordre de 8 M€.»

Une démarche compensatoire de génie écologique, prévue lors de la dernière extension du terre-plein transmanche va également être mise en œuvre cette année, consistant en une remise en eau de terrains qui avaient été poldérisés dans les années 50 et que l'on va rendre plus accessibles à l'eau de mer. Le barrage sur l'Orne dit de Montalivet, dans le centre-ville de Caen, qui assure l'alimentation en eau du canal de Caen à la mer, va être mis aux normes afin de respecter les prescriptions environnementales en vigueur notamment en termes de transparence vis-à-vis des

**6- Vue d'ensemble de l'avant-port de Caen-Ouistreham.**

**7- Le terre-plein du môle Est de Caen-Ouistreham accueillera la base de maintenance du parc éolien de Courseulles-sur-Mer.**

**8- L'écluse Ouest d'accès principal au port de Caen-Ouistreham.**

espèces migratrices et de garantie d'un débit minimum biologique (1 M€). Le chantier de réhabilitation de l'écluse Ouest, écluse d'accès principal au port de Caen, est en cours d'achèvement, avec la réfection complète du musoir Nord-ouest, suite à désordre constaté dans les fondations, déclenché par un événement sismique. Une partie de la tête de l'écluse, dans le prolongement du bajoyer Ouest, a commencé à basculer en entraînant une demi-porte, à tel point qu'il a été nécessaire d'imposer des restrictions d'usage du sas. Pour y remédier, une reprise en sous-œuvre des fondations a été réalisée par micropieux.

Sur Caen, comme sur les ports de Cherbourg et de Dieppe, vont également être entrepris des travaux liés au Brexit ainsi qu'au contrôle des passagers entrant en Europe. Ce dispositif baptisé EES (Entry Exit System), nécessite l'extension et la réorganisation du terminal Transmanche dont une refonte est en cours (7 M€).

La dernière opération prévue pour 2022-2023 est le dragage du bassin Saint-Pierre, dans le centre-ville de Caen, dont il faut extraire de l'ordre de 30 000 m<sup>3</sup> de sédiments. L'identification de la filière de traitement et de valorisation de ces sédiments un peu pollués est en cours. ▷



© PORTS DE NORMANDIE 9

## DIEPPE : LE QUAI DE NORVÈGE ET LE PONT COLBERT

Le port de Dieppe va connaître la réalisation de deux projets importants : le renforcement du quai de Norvège et la restauration du pont Colbert.

Deux postes d'accostage vont être créés sur le quai de Norvège dont la stabilité va, par ailleurs, être améliorée par la création d'un rideau de palplanches et des inclusions rigides dans les zones d'évolution de la grue (12 M€).

Le pont Colbert, classé monument historique en novembre 2020, va être restauré en totalité, remis en éclairage pour mieux le valoriser et incorporera un passage pour les piétons pour sécuriser les liaisons douces (11/13 M€). Conçu par l'architecte et ingénieur Paul

Alexandre, c'est un pont tournant de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle en fer puddlé riveté. Il a été mis en service en 1889 et relie le quartier du Pollet au centre-ville. C'est le dernier grand pont tournant d'Europe à fonctionner dans sa configuration d'origine, ce qui lui vaut son classement.

« Pour préparer au mieux cette remise en beauté, ajoute Bertrand Marsset, Ports de Normandie a réalisé au printemps 2021 un diagnostic complet du pont qui permettra, entre autres, d'analyser précisément l'état de la structure et définir le mode opératoire qui sera choisi pour mener à bien la réfection de l'ouvrage. »

« En concertation avec le conservateur des monuments historiques, nous avons défini une méthode prenant en

9- Vue d'ensemble du port de Dieppe.

10- Création de deux postes d'accostage sur le quai de Norvège à Dieppe.

compte l'état structurel et nos suggestions de réparation, avec des méthodes qui permettront la préfabrication de certains éléments afin d'optimiser le chantier. Les derniers diagnostics sont en cours avec des essais de décapage, des essais de peinture avec

## TROIS PORTS, SEPT FILIÈRES

- **TRANSMANCHE** : 1<sup>re</sup> liaison transmanche à l'ouest du Déroit, 1<sup>er</sup> port français vers l'Irlande, 200 000 poids lourds et 2 millions de passagers par an.
- **FRET CONVENTIONNEL** : place portuaire pour tous types de marchandises (vracs solides et liquides, colis lourds, produits dangereux...). 6 000 m de linéaire de quai / 6 postes Roro / 23 grues / plus de 63 000 m<sup>2</sup> de bâti (entrepôts et ateliers) / plus de 200 hectares de surfaces foncières mobilisables / un pont bascule 50 t...
- **CROISIÈRE** : une filière en expansion, près de 60 escales croisières par an et 150 000 croisiéristes. Une offre adaptée à l'accueil de tous types d'unités, du plus gros paquebot au monde aux plus intimistes.
- **CONSTRUCTION/RÉPARATION NAVALE** : des acteurs de rang mondial et des PME positionnées sur des marchés porteurs. Des outils de mise à sec jusqu'à 3 000 tonnes. Du foncier et de l'immobilier dédiés. Des savoir-faire locaux regroupés en pôles navals et nautiques : "Channel Maintenance" à Cherbourg, "Caen Tech Mer" à Caen et "Dieppe Navals" à Dieppe.
- **PLAISANCE** : 4 ports, 3 200 anneaux, 33 600 nuitées/an, un port à sec automatisé unique en France.
- **PÊCHE** : une activité historique en Normandie, approvisionnant la filière de transformation locale et régionale grâce à deux criées et 1/3 du tonnage déclaré en Normandie. Un label rouge pour la coquille Saint-Jacques.
- **ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES** : Cherbourg, 320 mètres de quai, accessibles H24, d'une portance de 15 t/m<sup>2</sup>, 100 ha dédiés, à proximité immédiate du 1<sup>er</sup> potentiel hydrolien mondial exploitable commercialement, le Raz Blanchard ; Caen-Ouistreham, future base de maintenance du parc éolien marin de Courseulles sur mer ; Dieppe, future base de maintenance du parc éolien marin de Dieppe/Le Tréport.



10

© PORTS DE NORMANDIE



© BIPLAN - STÉPHANE LEROY

11



© LES INFORMATIONS DIEPPOISES

12



© PORTS DE NORMANDIE

13



© PORTS DE NORMANDIE

14



© PORTS DE NORMANDIE

15

*recherche de la peinture historique, des essais géotechniques dans les zones jusque-là inaccessibles pour conforter notre opinion sur la bonne tenue des fondations.»*

Cette étude a entraîné la fermeture du pont pendant trois semaines. Ports de Normandie a profité de cette période pour mesurer les impacts sur la circulation routière.

L'objectif est clair : même si les entreprises seront sollicitées pour raccourcir la durée du chantier (estimé par les bureaux d'étude à 18 mois), il s'agit de trouver quel est le système de déviation/circulation alternative qui peut être mis en place de manière à pénaliser le moins possible les riverains tout en

**11- Le pont "historique" Colbert dans son environnement urbain.**

**12- Le pont Colbert est le dernier pont tournant d'Europe dans sa configuration d'origine.**

**13- La passe du pont Colbert a une largeur de 40 mètres.**

**14- Le pont Colbert date de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle.**

**15- Travaux d'inspection du mécanisme du pont Colbert.**

étant économiquement supportable par les collectivités.

« Pour la réhabilitation, précise le directeur adjoint de Ports de Normandie, l'ouvrage sera déposé sur un terre-plein portuaire tandis que les liaisons seront assurées par une navette gratuite reliant les deux berges. Libre choix sera laissé aux entreprises tant en ce qui concerne la technique de restauration que des suggestions alternatives de passage pour les piétons, sachant que la passe à franchir a une largeur de 40 mètres. »

Pour le parc éolien en mer de Dieppe Le Tréport (EMDT) - 62 éoliennes fabriquées par Siemens Gamesa Renewable Energy, il sera réalisé, comme à Caen-

Ouistreham, une base de maintenance équipée de pontons pour les navires de jonction.

Un autre projet est en cours de consultation dans le port de Dieppe : il concerne le remplacement d'un ouvrage de protection du bassin Angot - bassin de plaisance - doté de pontons flottants guidés par pieux (2,5 M€). D'autres ouvrages seront réhabilités tels que les quais de la Cale et de la Somme en raison de leur état général. Des projets d'extension du port sont également envisagés dans l'optique du Brexit afin de favoriser le développement du trafic sur le quai Transmanche avec la création d'un Poste de Contrôle Frontalier (PCF).



© BIPLAN - JÉRÔME HOUVET

## CHERBOURG : BREXIT ET FERROUTAGE

Sur le port de Cherbourg, l'adaptation des infrastructures au Brexit est plus complexe car le port assure un double trafic avec l'Angleterre mais aussi avec l'Irlande.

Deux régimes - européen et extra-européen - doivent ainsi être contrôlés et cohabiter sur le même terminal qu'il convient donc d'aménager en conséquence (5 M€). L'Entry Exit System aura sans doute aussi des conséquences sur le fonctionnement des installations.

« Par ailleurs, à Cherbourg, poursuit Bertrand Marsset, vient se greffer le projet de construction d'un terminal de ferroulage que lancera Ports de Normandie dès confirmation de l'engagement de Brittany Ferries sur l'exploitation de cette ligne de ferroulage. Le principe est de disposer de trains complets au départ de Bayonne arrivant dans un terminal dans la zone portuaire de Cherbourg. À la sortie du train, une flotte de tracteurs les prend en charge et les achemine directement vers les ferries en attente sur le quai. Cela répond à l'augmentation, depuis déjà plusieurs années, de remorques non accompa-

*gnées qui transitent par Cherbourg. Un tel dispositif simplifie le travail des logisticiens, même s'il nécessite une organisation plus pointue mais permet de réaliser des économies d'échelle en évitant d'immobiliser, pendant la traversée, un chauffeur et un tracteur. À noter que Cherbourg est le seul port avec celui de Calais à disposer d'un terminal ferroviaire raccordé au terminal ferries. »*



© BIPLAN - STÉPHANE LEROY

**16- Le terminal transmanche du port de Cherbourg.**

**17- Sur le port de Cherbourg, l'adaptation des infrastructures au Brexit est complexe.**

Ce terminal ferroviaire serait implanté au sud de l'actuel terminal Transmanche en mutualisant les installations déjà existantes. Le coût de l'opération d'aménagement du terminal est évalué à 6/7 M€.

Une réflexion est en cours sur l'adaptation du poste Transmanche n°2 dont la longueur du front d'accostage a été adaptée année après année pour correspondre à l'allongement des navires. Mais l'allongement de ces derniers s'accompagnant également de leur élargissement, des problèmes d'exploitation se posent au niveau des passerelles. Les premières prospections sont lancées pour trouver des solutions.

## CHERBOURG : LES EMR EN PREMIÈRE LIGNE

« Entre 2014 et 2015, des investissements très lourds avaient été réalisés sur le port de Cherbourg, rappelle Bertrand Marsset, pour l'adapter à la réception des installations pour les Énergies Marines Renouvelables : un quai lourd de 320 m de longueur, une extension de terre-plein de 39 ha gagnés sur la mer pour disposer de foncier disponible. Il est maintenant





© BIPLAN - STÉPHANE LÉROY

18

*nécessaire de l'aménager pour stocker notamment les pales des éoliennes fabriquées dans l'usine de LM Wind Power, filiale de General Electric implantée à Cherbourg, mais aussi pour positionner Cherbourg sur les marchés de l'éolien et de l'hydrolien.* »

Ainsi, Sodranord, filiale française de Van Oord, s'est installée sur le port de Cherbourg pour 20 mois depuis 1<sup>er</sup> février 2021.

Sur environ 5 hectares, elle assurera en effet une partie de la logistique des pieux de fondations des éoliennes du parc offshore de Saint Brieuc réalisé par Iberdrola, RES et la Caisse des Dépôts. Les ancrages des fondations seront acheminés par voie maritime sur le port, stockés puis livrés au navire d'installation qui les posera. Environ 80 escales sont prévues.

Ce projet concrétise les efforts de Ports de Normandie pour faire de Cherbourg

"LE" port français des EMR. Le parc de Saint-Brieuc, dont la mise en service est prévue en 2023, sera constitué de 62 éoliennes Adwen de 8 MW, pour une puissance totale de 496 MW. EDF a également confié à Ports de Normandie la maîtrise d'ouvrage

de la construction (nacelles, pales, mâts, pièces de transition), sur le port de Cherbourg, du hub éolien de Fécamp.

Tous ces éléments seront chargés à Cherbourg et transposés sur le site en mer à partir d'une zone en cours

d'aménagement de 15 hectares ce qui correspond à un investissement de 6 M€.

Les études et la consultation des entreprises se sont déroulées en 2021. Les travaux débuteront au printemps 2022. □

**18- Navire de déchargement des pieux de fondations des éoliennes sur le quai lourd des Flamands.**

**19- Pieux de fondations et pales des éoliennes de LM Wind Power pour le parc offshore de Saint-Brieuc.**



© BIPLAN - STÉPHANE LÉROY

19

## PORTS DE NORMANDIE : CHIFFRES-CLÉS ET FICHES D'IDENTITÉ

Ports de Normandie est le fruit de l'alliance de la Région Normandie, des départements du Calvados, de la Manche et de Seine-Maritime et des Agglomérations de Caen la Mer, Le Cotentin et Dieppe Maritime.

- 6000 emplois directs et indirects,
- 2 millions de passagers transmanche par an,
- 7 millions de tonnes de marchandises traitées chaque année,
- 3200 anneaux de plaisance, un port à sec unique dans une forme de radoub et 33600 nuitées,
- Près de 60 escales de croisières par an et plus de 150000 croisiéristes,
- 1/3 du tonnage pêche déclaré en Normandie,
- Une offre de réparation navale complète,
- 100 ha dédiés aux Energies Marines Renouvelables.

### CAEN-OUISTREHAM

Alors qu'il vient de fêter les 30 ans de sa liaison transmanche, ce port d'hinterland régional polyvalent (céréales, bois, ferraille, agroalimentaire) est organisé en terminaux le long d'un canal de 15 km reliant Caen à la mer, véritable "Trait d'union entre la ville et la mer".

### CHERBOURG

Un port hors norme à un croisement de chemins au centre du rail maritime européen (un bateau toutes les 3 minutes), un hub logistique avancé en Manche, doté de caractéristiques nautiques rares : port en eau profonde, accessible 24/24 H, pouvant accueillir des navires de 14 mètres de tirant d'eau, il est directement relié à la Grande-Bretagne et l'Irlande.

### DIEPPE

Ouvert sur la mer la plus fréquentée du globe et au cœur d'une économie régionale dynamique, le port de Dieppe offre toutes les prestations d'un grand port d'attache et de multiples avantages au navigateur de passage. Il entretient un lien naturel et quotidien avec la Grande-Bretagne.



1  
© SID

# FRÉGATES FREMM - SECONDE LIGNE D'ACCOSTAGE ET DE STATIONNEMENT AU QUAI DES FLOTTILLES À BREST

AUTEURS : BRICE MOUSSARD, CHEF DE PROJET MOE, ARTELIA - ALBAN NEVEU, ADJOINT AU DIRECTEUR DU PÔLE INFRASTRUCTURES / OUVRAGES PORTUAIRES / OUVRAGES D'ART, ARTELIA - ANTOINE THAURY, DIRECTEUR DE TRAVAUX, CHARIER - FRÉDÉRIC BILLOWS, REPRÉSENTANT DU CONDUCTEUR D'OPÉRATION, ESID BREST - LAURENT BLANC, CHEF DE LA DIVISION INVESTISSEMENT, ESID BREST

LA BASE NAVALE DE BREST ACCUEILLE LES NOUVELLES FRÉGATES EUROPÉENNES MULTI-MISSIONS ET ACCUEILLERA PROCHAINEMENT LES NOUVELLES FRÉGATES DE DÉFENSE ET D'INTERVENTION. SUITE À LA RÉALISATION D'UN PREMIER PONTON FLOTTANT AUX CARACTÉRISTIQUES INNOVANTES, UN SECOND OUVRAGE SIMILAIRE A ÉTÉ CONÇU ET RÉALISÉ POUR RESPECTER UN CAHIER DES CHARGES PARTICULIER D'AMARRAGE, D'AVITAILLEMENT ET DE FONCTIONNEMENT TOUT TEMPS.

## LE CONTEXTE DE L'OPÉRATION

L'opération s'inscrit dans la 2<sup>e</sup> phase de réalisation du projet visant à doter la Base Navale de Brest de deux lignes d'accostage au quai des Flottilles spécifiques aux FREMM.

La maîtrise d'ouvrage et la conduite de l'opération sont assurées par l'Établissement du Service d'Infrastructure de la Défense (ESID) relevant du Ministère des Armées.

La réalisation de la 1<sup>re</sup> ligne, livrée en janvier 2013 a fait l'objet d'un marché de conception-réalisation.

Celle de la 2<sup>nd</sup>e ligne a fait l'objet d'un marché de maîtrise d'œuvre confié

à Artelia. Cette mission de maîtrise d'œuvre comprend la prise en compte des retours d'expérience de la 1<sup>re</sup> ligne identifiés par les différents services de la Marine dans la conception de la 2<sup>nd</sup>e ligne.

## LES EXIGENCES FONCTIONNELLES SPÉCIFIQUES AUX FREMM

Les lignes d'accostage existantes étaient constituées uniquement de pontons flottants métalliques ancrés sur chaînes.

Ces lignes existantes ne sont pas adaptées aux évolutions majeures de la flotte :

## 1- Photo d'ensemble.

## 1- General photo.

- Les nouvelles frégates multi-missions (FREMM) de la Marine Nationale, mises en service en 2012, présentent une longueur totale de 142 m pour un déplacement de 6 200 t et un tirant d'eau maximum de 7,66 m ;
- Les frégates de défense et d'intervention (FDI), dont la mise en ser-

vice est prévue à partir de 2024, présenteront une longueur de 125 m pour un déplacement de 4 100 t et un tirant d'eau maximum de 6,50 m.

Afin de répondre aux exigences fonctionnelles de cette nouvelle flotte, une 1<sup>re</sup> ligne d'accostage et de stationnement a été livrée en janvier 2013. La 2<sup>nd</sup>e ligne a été exécutée à partir de 2019 et livrée en 2021 (figure 1). Les infrastructures de la base navale de Brest seront complétées, à l'horizon 2025, par un nouveau ponton flottant à la place de l'Épi Grande Rivière. Ce dernier sera similaire aux deux lignes

- 2- Massif en béton armé en construction.
- 3- Musoir au bassin 4 avec coffrage glissant.
- 4- Musoir en place.

- 2- Reinforced concrete foundation under construction.
- 3- Pier head in dock 4 with sliding formwork.
- 4- Pier head in place.



d'accostage et de stationnement et intégrera en complément des fonctionnalités industrielles. La conception de la 2<sup>de</sup> ligne d'accostage et de stationnement répond aux besoins fonctionnels des FREMM et des FDI.

L'ouvrage est constitué de deux ponts superposés et indépendants offrant un niveau de sécurité et d'ergonomie élevé à l'ensemble des usagers.

Le pont inférieur est accessible depuis le pont supérieur via des escaliers. Il est divisé en trois zones distinctes. Une zone centrale dédiée à l'implantation des réseaux et deux coursives latérales offrant un espace de travail à l'abri des intempéries. En complément, il est équipé d'équipements (bollards, défenses, etc.) répondant aux exigences d'accostage et d'amarrage des navires. Le pont supérieur est accessible en permanence, quel soit le niveau de la mer, aux véhicules et piétons via une passerelle métallique. Il est entièrement dégagé de toute servitude technique afin de permettre les opérations de chargement/déchargement des navires. En conséquence, il est justifié vis-à-vis de l'exploitation de grue mobile, de camion et de charges de stockage. L'accès à bord des navires est assuré par des coupées implantées sur le pont supérieur.

Les principes directeurs de la conception sont énoncés ci-après.

L'ouvrage est constitué d'un double pont dans le but de répondre aux objectifs suivants :

- Séparation, rationalisation des flux (personnel, véhicules, réseaux) ;
- Accessibilité permanente depuis le quai des flottilles, quel que soit le niveau de la mer, le marnage étant de 7,68 m à Brest ;
- Ergonomie des interfaces infrastructures/navire.

La structure du génie civil est constituée :

→ D'un caisson flottant monolithique en béton armé, de 160 m de long par 17 m de large, avec un tirant d'eau de 3,40 m et un franc-bord de 1,50 m. La structure est composée d'un radier et de voiles périphériques de forte épaisseur. Un cloisonnement intérieur permet de créer 12 alvéoles indépendantes garantissant le maintien en flottaison de l'ouvrage en cas d'avarie. La dalle présente une pente de 1% au droit des coursives latérales afin d'assurer l'écoulement des eaux pluviales. La dalle est épaissie à plus de 50 cm en extrémité afin de reprendre les efforts transmis par les amortisseurs des chaînes d'amarrage ;

→ D'une superstructure également en béton armé, de type dalle sur poutres et poteaux, de 14 m de large. Le pont supérieur se situe à mi-marée approximativement au niveau du quai des Flottilles. La structure est composée de poteaux de section 40 cm x 40 cm supportant des poutres de hauteurs variables et une dalle de forte épaisseur. Cette dalle présente une pente de 1% afin de collecter les eaux pluviales vers le réseau associé.

Le ponton est implanté à 30 m du quai des flottilles, perpendiculairement à celui-ci. Il est amarré sur chaînes semi-tendues. Ces chaînes sont ancrées :

→ Côté quai, sur des massifs en béton armé (figure 2) fondés sur des micropieux implantés dans le quai des Flottilles existant. Les micropieux sont de type III (Micropieux injecté mode IGU - Injection Globale Unitaire), Ø 165 mm, armatures Ø 57,5 mm S670. La longueur totale est d'environ 30 m dont 11 m de scellement dans le substratum. Les micropieux sont au nombre de 19 par massif ;

→ Côté mer, sur un musoir en béton armé fondé superficiellement au rocher (figures 3 et 4). L'opération a nécessité la réalisation de travaux de dragage au droit de l'ouvrage. Les matériaux issus des travaux de dragage ont été valorisés comme lest du musoir après le traitement des sédiments par ajout de liant hydraulique. La structure du musoir est composée d'un radier de section 15 m x 15 m et de 80 cm d'épaisseur. Le voile circulaire de 40 cm d'épaisseur a été exécuté à l'aide d'un coffrage glissant sur toute sa hauteur, soit 22,20 m. ▷



5  
© SID



6  
© SID

Cette tâche a été menée en continu sur 6 jours consécutifs. L'épaisseur est augmentée en pied afin de reprendre les sollicitations importantes à l'encastrement avec le radier.

Chacune des chaînes est munie sur le ponton d'un amortisseur dimensionné pour reprendre les efforts d'accostage des navires et les efforts d'amarrage, soit un effort de 350 t à l'ELU (État Limite Ultime) (figures 5 et 6). Le principe de fonctionnement des amortisseurs est le suivant :

- Un premier étage de type "boîte à ressorts" ;
- Un second étage de type "amortisseur à fluide viscoélastique".

L'accès au ponton est assuré par une passerelle métallique de 30 m de longueur (figures 7 et 8). La pente maximale de l'ordre de 13% garantit l'accès aux pontons quel que soit le niveau de la mer. Sa longueur, limitée à 30 m, permet de limiter l'emprise totale de la ligne et ne nécessite pas

la mise en œuvre d'un appui intermédiaire. Sa conception intègre les déplacements du ponton sous conditions extrêmes de l'ordre de +/- 1,0 m en cavalement (déplacement longitudinal au ponton) et de +/- 2,0 m en embardée (déplacement transversal au ponton).

L'accès des équipages à bord des navires est facilité par le niveau élevé du pont supérieur au-dessus du plan d'eau, proche de celui du pont arrière des FREMM. Les coupées implantées sur ce pont supérieur sont ainsi de faible dénivelée et de faible encombrement (figure 9).

Les réseaux fluides et divers sont positionnés en partie centrale du pont inférieur (figure 10) :

- Adduction eau potable (EP) ;
- Eau industrielle (EI) ;
- Eaux usées (EU) (Eaux noires et grises) ;
- Eaux de fonds de cale ;
- Eaux d'infiltration ;
- Eaux pluviales ;

**5- Amortisseur côté quai.**

**6- Amortisseur côté musoir.**

**7- Passerelle d'accès.**

**8- Passerelle d'accès.**

**5- Shock absorber on quay side.**

**6- Shock absorber on pier head side.**

**7- Access gangway.**

**8- Access gangway.**

- Délivrance et remise d'hydrocarbure ;
- Air comprimé.

Ces réseaux sont raccordés aux existants de la base navale implantés dans une galerie technique dans le couronnement du quai des Flottilles. Ces réseaux cheminent en encorbellement

sur la passerelle métallique depuis la galerie technique jusqu'au pont inférieur. Ils restent ainsi visibles et accessibles.

Les réseaux électriques sont composés de :

- Le réseau haute tension 6,3/6,6 KV 60 Hz (alimentation des FREMM), avec la création d'un branchement par bord ;
- Le réseau basse tension 440 V 60 Hz (alimentation de bâtiments et d'équipements industriels), avec la création de quatre panoplies ;
- Le réseau basse tension 400 V 50 Hz (alimentation de bâtiments et d'équipements industriels), avec la création de deux panoplies sur le quai et de 4 jeux de panoplies sur le ponton ;
- L'éclairage ;
- La GTC (Gestion Technique Centralisée) ;
- L'équipement des locaux techniques (éclairage, prises de courant, ventilation).



7  
© SID



8  
© SID

Un local technique (figure 11), également positionné en partie centrale du pont inférieur, accueille les équipements électriques.

La conception des réseaux répond aux exigences cybersécurité.

**9- Coupées d'accès aux FREMM.**

**10- Pont inférieur.**

**11- Intérieur du local technique.**

**12- Maquette BIM - Vue d'ensemble.**

**13- Maquette BIM - Détail réseaux sur pont inférieur.**

**9- FREMM frigate accommodation ladders.**

**10- Lower deck.**

**11- Inside of the plant room.**

**12- BIM model - General view.**

**13- BIM model - Detail of utilities on lower deck.**



© SID

Une maquette BIM a été exploitée dans le cadre de la conception de la 2<sup>nd</sup>e ligne (figures 12 et 13). Elle avait pour but l'identification des interfaces entre les différents lots, en particulier la gestion des problématiques de cheminement des réseaux sur la structure de génie civil. Cette maquette a vocation à être exploitée dans le cadre de l'ex-

ploitation et de la maintenance de l'ouvrage pendant toute sa durée de vie. La mission de maîtrise d'œuvre sur la 2<sup>nd</sup>e ligne a tenu compte des évolutions réglementaires, de nouvelles contraintes et des retours d'expérience de la 1<sup>re</sup> ligne identifiés par les différents services de la Marine. Les principales évolutions par rapport à

la première ligne sont les suivantes :

→ Redimensionnement des ouvrages aux Eurocodes, la 1<sup>re</sup> ligne étant justifiée sur la base de règlement antérieur. Le redimensionnement des ouvrages conformément à la réglementation en vigueur n'a pas induit de modifications majeures ;

→ Conception du musoir adapté à la géotechnique au droit de la 2<sup>nd</sup>e ligne avec un toit du substratum plus profond. Le mode constructif du musoir de la 1<sup>re</sup> ligne a néanmoins été conservé, avec une augmentation de sa hauteur. L'épaisseur du voile a été augmentée en pied afin de reprendre les sollicitations importantes à l'encastrement avec le radier. Enfin, le musoir de la 2<sup>nd</sup>e ligne a été équipé de flotteurs afin de limiter son tirant d'eau et de permettre son remorquage, en particulier son passage au droit du seuil du bassin 4. Modifications du mode opératoire des micropieux. Les micropieux ont été chemisés jusqu'à l'interface du substratum afin d'éviter toute perte de coulis ; ▷

© SID



10

© SID

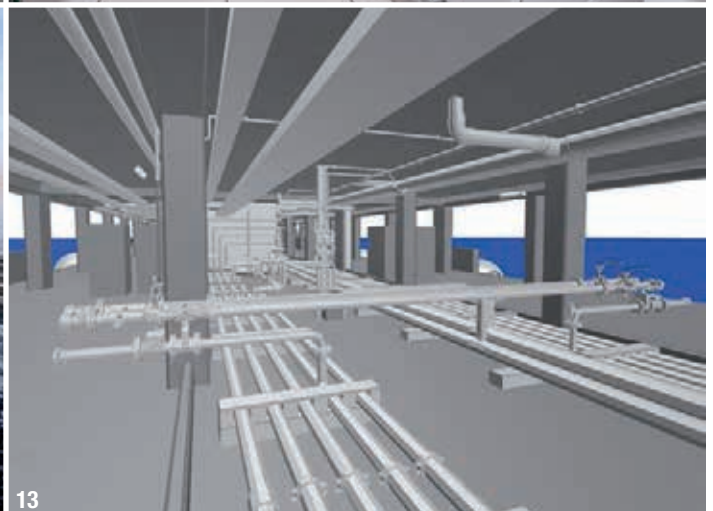


11



12

© ARTELIA



13

© ARTELIA

- Modification du niveau du pont supérieur. Le pont supérieur a été rehaussé de 50 cm afin de faciliter les accès aux navires de plus faible tonnage depuis le pont inférieur. La conception de la passerelle d'accès a été vérifiée en conséquence afin d'éviter tout contact entre la passerelle et le génie civil ;
- Modification de la position du local technique. Cette modification a induit une reprise des calculs de flottaison du ponton. Les lests mis en œuvre sur le radier du caisson ont été modifiés en conséquence ;
- Modification de la définition des amortisseurs côté quai pour faciliter la réalisation des dalles d'about, fortement ferrillées, et optimiser les longueurs de chaîne ;
- Mise à jour de l'étude hydrodynamique, permettant d'identifier les efforts appliqués sur le ponton en intégrant les évolutions réglementaires et les modifications apportées sur les amortisseurs.

#### LA CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE

Les ouvrages en béton armé, ponton et musoir, ont été construits au sein de la Base Navale de Brest dans le bassin 4 mise à disposition par le maître d'ouvrage (figure 14). Cette forme de radoub offre des dimensions suffisantes pour la construction simultanée des deux ouvrages. Son implantation en rive droite de la rivière Penfeld a nécessité une analyse rigoureuse des conditions de remorquage (cheminement, niveaux



14  
© CHARIER

d'eau minimum, temps de remorquage en Penfeld, etc.) :

- Le musoir a été muni de flotteurs additionnels afin de limiter son tirant d'eau au remorquage dans le but de passer en flottaison le seuil de la forme ;
- Le ponton d'une longueur de 160 m a imposé un cheminement délicat adapté à la configuration de la rivière Penfeld.

**14- Construction des ouvrages dans le bassin 4.**  
**15- Remorquage ponton.**

**14- Construction of structures in dock 4.**  
**15- Towing the pontoon.**

Les ouvrages ont ensuite été remorqués à l'aide des remorqueurs de la Base Navale en Penfeld jusqu'à leur position finale (figures 15 et 16).

Le phasage de construction sur site est le suivant :

- Exécution au préalable des massifs en béton armé dans le quai des Flottilles. Ces massifs sont fondés sur des micropieux forés au travers des caissons du quai des Flottilles et ancrés dans le substratum ;
- Exécution du ballast de fondation du musoir après les travaux de dragage ;
- Lestage du musoir dans sa position finale (avec de l'eau de mer en phase provisoire puis avec les matériaux issus du dragage en phase définitive) et exécution de la dalle de couverture de l'ouvrage. Le lestage du musoir a été guidé par des pieux pour garantir sa position finale et sa verticalité ;
- Amarrage provisoire du ponton via les chaînes secondaires ;
- Amarrage définitif du ponton via les chaînes principales équipées d'amortisseurs.

Les volumes de dragage au droit du musoir ont été limités par la mise en œuvre d'un soutènement périphérique. Durant les opérations de dragage, un rideau de bulles anti-MES (Matière En Suspension) a été mis en œuvre en tête du soutènement.

La passerelle métallique d'accès au ponton a été exécutée en atelier puis acheminée sur site en deux tronçons. Après assemblage définitif sur site,



15

© CHARIER



16- Remorquage du musoir.

16- Towing the pier head.

elle a été installée à l'aide d'une grue. La passerelle est fixée sur un appui de type rotule sur le quai des Flottilles et par l'intermédiaire de galets coulissant le long de deux rails de guidage sur le ponton.

Le terre-plein sur le quai des Flottilles a été aménagé dans le but de faciliter l'accès au ponton, avec modification des places de parking, des voies d'accès et du cheminement.

Les réseaux et équipements ont été mis en œuvre partiellement dans le bassin 4 en coactivité avec les travaux de génie civil puis finalisés sur site après la mise en œuvre de la passerelle.

Les travaux ont été réceptionnés durant le 1<sup>er</sup> semestre 2021. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

### PONTON EN BÉTON ARMÉ :

- 160 m de long x 17 m de large x 9 m de haut hors tout
- Volume béton : 3 500 m<sup>3</sup> (soit environ 8 750 t, hors équipements et réseaux)

### CAISSON MUSOIR :

- 14 m de diamètre x 23 m de hauteur
- Volume de béton : 550 m<sup>3</sup> (soit un poids total d'environ 1 900 t, y compris lestage)

**ANCRAGES :** 4 chaînes principales dimensionnées pour des efforts de 350 t

### PASSERELLE ROUTIÈRE :

- Portée 30 m
- Poids total d'environ 140 t (y compris les réseaux)

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Ministère des Armées - ESID (Établissement du Service d'Infrastructure de la Défense) Brest

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Artelia

**TITULAIRE DU MARCHÉ DE TRAVAUX LOT n°1 (Génie civil) :**

Charier SA / Charier GC / Etpo / Ducrocq / Geomine

**TITULAIRE DU MARCHÉ DE TRAVAUX LOT n°2 (Réseaux fluides) :**

Le Du

**TITULAIRE DU MARCHÉ DE TRAVAUX LOT n°3 (Réseaux électriques) :**

Actemium / Cegelec

**CONTRÔLE TECHNIQUE :** Apave

**COORDINATION SPS :** Apave

## ABSTRACT

### FREMM FRIGATES - A SECOND BERTHING AND MOORING LINE FOR THE QUAI DES FLOTILLES IN BREST

BRICE MOUSSARD, ARTELIA - ALBAN NEVEU, ARTELIA - ANTOINE THAURY, CHARIER - FRÉDÉRIC BILLOWS, ESID BREST - LAURENT BLANC, ESID BREST

The second berthing and mooring line for FREMM multi-mission frigates consists of a reinforced concrete pontoon anchored by chains, on the quay side to reinforced concrete structures supported on micropile foundations located in the existing Flotilla dock, and on the sea side to a reinforced concrete pier head supported on a shallow rock foundation. The structure consists of a double deck. The upper deck is devoted to vehicle and pedestrian traffic and loading and unloading operations. The lower deck allows installation of the appropriate support systems for the needs of the multi-mission frigates: supply of potable water and process water, drainage of wastewater, hold bottom water, ingress water and rainwater, delivery and transfer of hydrocarbons, compressed air, and low- and high-voltage power supply networks. □

### FRAGATAS FREMM - SEGUNDA LÍNEA DE ATRAQUE Y ESTACIONAMIENTO EN EL QUAI DES FLOTILLES, EN BREST

BRICE MOUSSARD, ARTELIA - ALBAN NEVEU, ARTELIA - ANTOINE THAURY, CHARIER - FRÉDÉRIC BILLOWS, ESID BREST - LAURENT BLANC, ESID BREST

La segunda línea de atraque y estacionamiento para las fragatas multimisión (conocidas por su sigla francesa FREMM, o fragate multi-missions) está formada por un pontón de hormigón armado anclado sobre cadenas, del lado del muelle, sobre unos bloques de hormigón armado sustentados sobre micropilotes implantados en el quai des Flottilles existente, del lado del mar, sobre un morro de hormigón armado sustentado en la superficie de roca. La construcción está formada por un doble puente. El puente superior está dedicado a la circulación de vehículos y peatones, así como a las operaciones de carga y descarga; el puente inferior permite implantar servicios adaptados a las necesidades de las FREMM: abastecimiento de agua potable y agua industrial, evacuación de aguas residuales, de sentina, de infiltración, pluviales, entrega y suministro de hidrocarburos, aire comprimido, redes eléctricas de alta y baja tensión. □



1

© AQUANAUTE

# PLATEFORME DE RÉPARATION NAVALE POUR MÉGA-YACHT DE 4 300 t À LA CIOTAT

AUTEUR : LUC BARBOT, MANAGER DE PROJETS, ARCADIS

**AFIN DE PERMETTRE D'ACCROÎTRE SA CAPACITÉ D'ACCUEIL DE YACHTS ENTRE 2 000 t ET 4 300 t ET AINSI ANTICIPER L'ÉVOLUTION DU MARCHÉ MONDIAL, LA CIOTAT SHIPYARDS FAIT CONSTRUIRE UNE PLATEFORME DOTÉE DE SEPT EMBLEMMENTS DESSERVIS PAR UN ASCENSEUR À BATEAUX ET DES QUAIS. POUR TENIR COMPTE DU CONTEXTE GÉOTECHNIQUE ET TOPOGRAPHIQUE, LES EMBLEMMENTS REPOSENT SUR UN RÉSEAU D'INCLUSIONS RIGIDES, LE GÉNIE CIVIL DE LA FOSSE DE L'ASCENSEUR OPTIMISE LA PRÉSENCE DU ROCHER ET LES QUAIS SONT GAGNÉS SUR LA MER AVEC DES COMBIWALLS.**

## LE CONTEXTE

À la suite de la signature du protocole d'accord de 1994, et de la création de la Semidep-Ciotat en 1995, le site des chantiers navals de la Ciotat s'est progressivement hissé au tout premier rang sur le marché des services techniques aux yachts de plus de 30 m. À lui seul, le site représente entre 8% et 10% du marché mondial pour cette activité. Sa spécialisation dans le secteur du yachting, ses capacités de traitement de navires à flot et à sec, ou

encore la présence d'opérateurs résidents rendent ce site sans équivalent sur toute la façade maritime française. La Ciotat Shipyards (nouveau nom de la Semidep depuis 2018), concessionnaire du site, dispose ainsi d'un site de référence dédié au yachting en méditerranée, avec de nombreux outils récents ou hérités des anciens chantiers navals : ascenseur à bateaux pour accéder à la plateforme Super-Yachts (capacité 2 000 t), portique sur rails (660 t), élévateur à sangles (300 t),

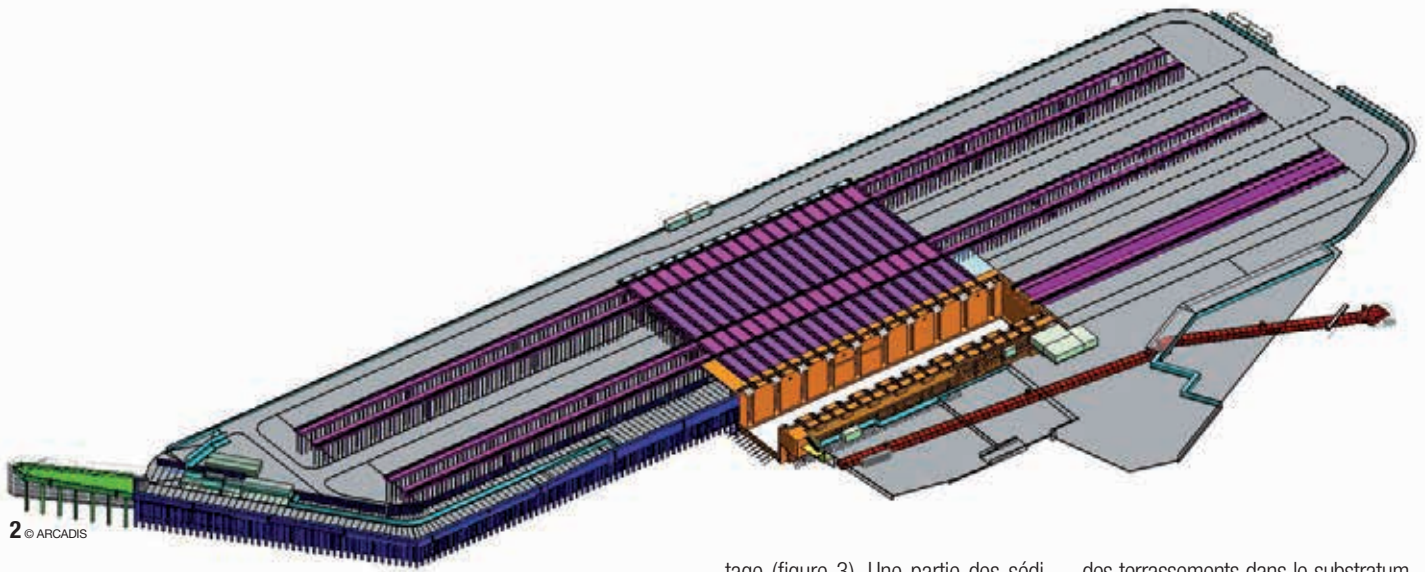
1- Photo aérienne.

1- Aerial photo.

grue sur rails (250 t), etc. Pressentant la croissance du marché pour les navires de tailles 80 à 100 m (2 000 à 4 000 t), La Ciotat Shipyards (LCS) a engagé, à partir de 2017, un processus de réexamen approfondi de sa stratégie de développement qui repose notam-

ment sur la création d'une plateforme d'accueil de méga-yachts de plus de 80 m desservie par un ascenseur à bateau d'une capacité de 4 300 t. C'est dans ce contexte que LCS a lancé en mars 2019 un appel d'offre pour la conception et la réalisation d'une plateforme industrielle pour la mise à sec de yachts de 2 000 t à 4 300 t comprenant sept emplacements, une fosse pour recevoir un ascenseur pour les navires jusqu'à 4 300 t, de 100 m de longueur, 20 m de largeur et 11 m de





2 © ARCADIS

tirant d'eau, et de quais sur un linéaire de 250 m (figure 2).

Le programme fonctionnel laissait aux entreprises candidates une marge d'initiative dans la conception et la réalisation des différents ouvrages. Le groupement d'entreprises lauréat est composé de Vinci Construction Maritime et Fluvial (Mandataire), Gtm sud, Vinci Construction Terrassement, Marengo, Keller Fondations Spéciales, Alzéo Environnement et Arcadis. Par rapport aux solutions techniques évoquées par le programme, le groupement a proposé différentes adaptations techniques dans la réalisation des ouvrages.

### TRAVAUX PRÉLIMINAIRES

Afin de respecter une cote minimale -6,8 m CM (-7 m NGF comme demandé au programme) devant le futur ascenseur à bateaux et les quais, les premiers travaux ont consisté à draguer et dérocté le fond du port, au droit des futurs ouvrages. Pour minimiser l'impact de ces travaux en matière de rejet de MES et de nuisance sonore vis-à-vis de l'environnement marin, la zone

de travail a été protégée par un écran flottant de filtration et un double rideau à bulles à l'entrée du port (figures 3 et 4).

Les travaux ont été réalisés à l'aide d'un ponton dipper (ponton équipé d'une pelle), avec un godet pour le dragage des sédiments, et toujours par ponton dipper mais avec la pelle équipée d'un BRH marinisé pour le déroctage

**2- Maquette 3D du projet.**

**3- Dragage et déroctage à l'abri du barrage flottant.**

**4- Double rideau de bulles.**

**2- 3D model of the project.**

**3- Dredging and rock excavation sheltered by a floating boom.**

**4- Double bubble curtain.**

(figure 3). Une partie des sédiments est évacuée par voie maritime à l'aide d'une barge et traitée en filière agréée, une autre partie est stockée sur place dans un bassin, afin de pouvoir être réutilisée sur site. L'ensemble des matériaux issus du déroctage est réutilisé sur place.

À terre, le premier travail a consisté à dévier le canal de la Bucelle. Cet ouvrage souterrain, qui permet le transit des eaux pluviales, provenant de la ville de la Ciotat, vers la mer, traverse le projet de la future plateforme de part en part. Compte tenu de son état et afin d'éviter de futurs effondrements, ce canal doit être déconstruit ou comblé, et une déviation doit être réalisée à l'entrée du site. Pour la réalisation de cette déviation, le groupement a choisi une conception en deux tronçons, avec une pente de 0,5% et des cadres béton armé préfabriqués de 2,0 m x 2,5 m de largeur posés sur un béton de propreté, après terrassement des remblais et du substratum rocheux par minage (figure 5). Cette solution est une optimisation en termes d'hydraulique (pente, vitesse, section pour reprendre les débits) et de géotechnique (limitation

des terrassements dans le substratum rocheux). L'ouvrage de connexion au canal existant et l'ouvrage de chute en partie centrale ont été coulés en place.

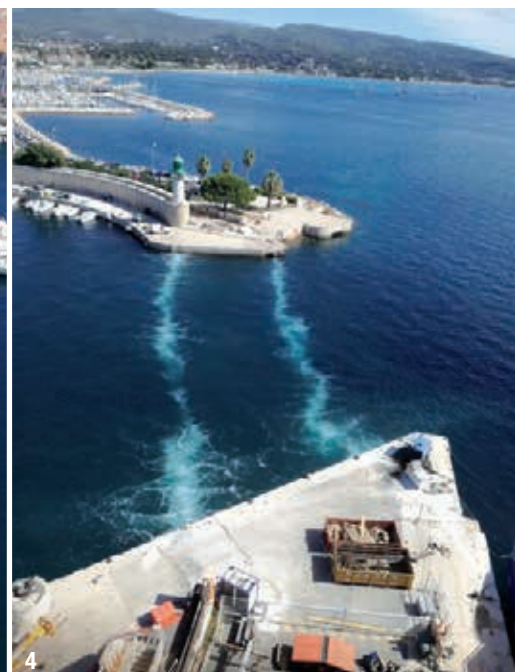
### LES QAIS

Les quais (de travail et d'attente) ont une longueur totale d'environ 250 m et sont gagnés sur la mer. Le groupement a opté pour la mise en place d'un combiwall avec tirants et contre-rideau arrière, sur 210 m environ et un quai sur pieux sur 40 m (figure 2). Le choix du quai sur pieux a été guidé, d'une part, par la présence des caissons poids en béton armé existants, qui, compte tenu de leur proximité, empêchait la réalisation d'un combiwall avec tirants et contre-rideau et, d'autre part, afin de permettre de conserver, de manière simple, la prise d'eau pour les pompes de la grande fosse de LCS au sein des caissons en béton. Le combiwall est constitué de tubes métalliques Ø 711 mm distants de 2,175 m avec une paire de palplanches AZ13-700 S355 intercalaire. Les tubes sont ancrés dans le substratum calcaire compact, de 2,5 m par l'utilisation d'un marteau fond-de-trou. ▷



3

© ARCADIS



4

© ARCADIS

Les palplanches intercalaires sont battues jusqu'au toit rocheux. Afin de respecter les tolérances d'implantation des pieux (implantation et verticalité), le groupement constructeur a utilisé une grue chenillée équipée d'un mât de forage ainsi qu'un guide monté sur une plateforme autoélevatrice (figure 6). Le rideau principal est retenu par une rangée de tirants  $\varnothing$  56 mm M76, à tête refoulée, articulés au niveau de sa liaison avec les tubes et de la lierre arrière (écrou rotulé). Ils sont également équipés d'un ridoir en partie centrale, pour permettre les déplacements verticaux et minimiser les efforts de flexion générés par les différentes hauteurs de remblais du terre-plein arrière. Les tirants sont ancrés au niveau de chaque tube entre + 1 NGF et + 2,3 NGF, suivant le niveau du terre-plein arrière, afin d'être hors d'eau. Ils sont ensuite ancrés sur un contre-rideau arrière en PU12 S355 et une lierre constituée de deux profilés UPN 300 (figure 7).

Dans un souci de valoriser les matériaux du site (démolition et déroctage), les remblais de première et seconde phase (comblement jusqu'au rideau), disposés en arrière du combiwall, sont réalisés à partir des matériaux rocheux du site, concassés in situ. Après différents essais, la granulométrie finale



5  
© ARCADIS

retenue pour ces remblais est un 20/80 mm. Le comblement autour des tirants, avant compactage, a été, en revanche, réalisé avec une grave 6/16 (figure 7) pour réaliser une meilleure étreinte. Pour parfaire le serrage de la grave 20/80, notamment sous le niveau de la mer, les remblais de première phase puis de seconde phase ont été vibrocompactés (figure 8).

Pour finir, une poutre de couronnement en béton armé est liaisonnée en tête des tubes. Elle est équipée d'un voile vertical de retombée, jusqu'au niveau 0 NGF.

La structure du quai sur pieux a été optimisée et simplifiée au maximum. Elle se compose, finalement, d'une file de pieux avant, ancrés dans le subs-

**5- Canal de déviation de la Bucelle - cadres préfabriqués.**  
**6- Vue aérienne des travaux.**

**5- La Bucelle diversion channel - precast frames.**  
**6- Aerial view of the works.**



6

© AQUANAUTE



© ARCADIS

© ARCADIS

© ARCADIS

tratum rocheux, par le même procédé que les tubes du combiwall, une poutre magistrale encastrée en tête des pieux avec la même retombée verticale que celle du combiwall, une poutre en béton armé continue ancrée au niveau des caissons existants, puis un réseau de poutres transversales et une dalle en béton armé (prédalle + dalle de compression). Les deux quais sont équipés de bollards (30 t et 50 t) et d'échelles.

### LA FOSSE D'ASCENSEUR

Dans le but d'y installer l'ascenseur à bateaux de 4300 t, qui fait l'objet d'un autre marché de conception-réalisation, le groupement a en charge la réalisation de la fosse. Cette dernière, de forme rectangulaire d'environ 100 m de longueur, 20 m de largeur et 15 m de hauteur (entre les cotes +4,2 m NGF et -11 m NGF) est réalisée en béton armé. Cette fosse doit également comprendre dix engravures verticales, toute hauteur,

**7- Combiwall avec tirants et contre-rideau.**

**8- Atelier de vibrocompactage des remblais.**

**9- Terrassement de la fosse - Grillage et clouage du rocher.**

**10- Vue 3D du génie civil de la fosse avec voiles, semelles et ancrages.**

**7- Combiwall with tie anchors and inner curtain wall.**

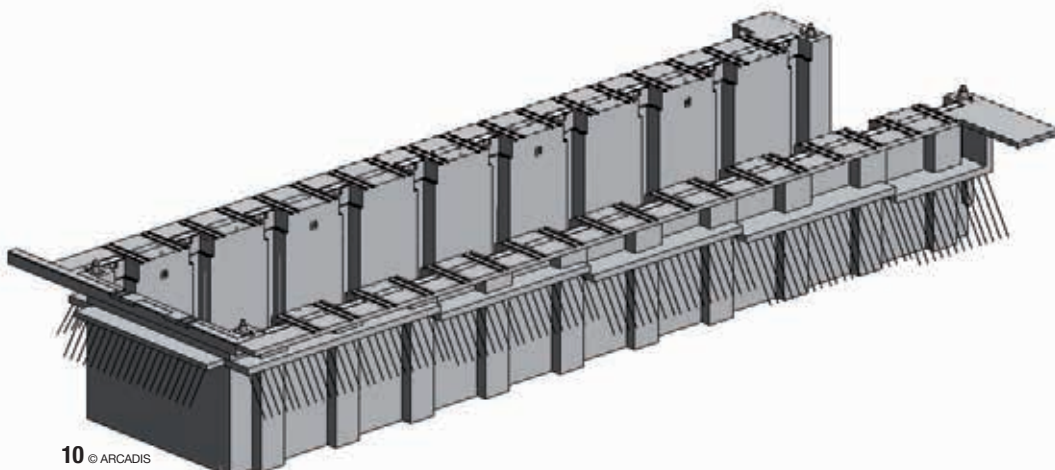
**8- Backfill vibro-compaction rig.**

**9- Pit earth-works - Rock mesh netting and nailing.**

**10- 3D view of pit civil works with walls, foundation slabs and anchors.**

de chaque côté, afin de pouvoir recevoir les treuils (*chain jacks*) servant à actionner l'ascenseur à bateaux (figure 9). Cette fosse étant implantée en partie au droit de l'ancienne cale de mise à l'eau, il a fallu réaliser des travaux de démolition des ouvrages existants (cale, bajoyers, bâtiments), puis de terrassement des remblais et du substratum rocheux jusqu'à la cote -11 m NGF. Compte tenu de la nature du substratum rocheux (calcaire gréseux, plus ou moins marneux et correspondant au Grès de la Ciotat), dont la compacité est croissante, d'après les résultats des investigations géotechniques, les terrassements ont fait l'objet d'un prédécoupage et d'un terrassement à l'explosif, puis au BRH. Afin de sécuriser la fouille provisoirement, pendant les travaux de terrassement, puis de génie civil, la paroi rocheuse a été confortée par la pose d'ancrages passifs, de grillage et de béton projeté dans les zones altérées ou très fracturées (figure 9).

Compte tenu des variations du toit rocheux, les voiles en béton armé constituant l'enceinte de la fosse ascenseur, d'une hauteur totale de 15 m, se retrouvent avec une hauteur de remblai, à l'arrière, au-dessus du toit rocheux, variable entre 3 et 8 m. Afin de reprendre les efforts de poussée de cette couche de remblai, les efforts horizontaux en tête de voile, générés par les cabestans, les organeaux ou les bollards, le génie civil de cette enceinte est conçu avec des voiles verticales principaux, de 80 cm d'épaisseur, reposant sur une fondation encastrée dans le rocher et munis d'une semelle filante horizontale, reposant à des niveaux variables sur le toit rocheux (figure 11). Sur ces semelles continues viennent également s'encastrer les voiles des réservations pour les *chain jacks*.



10 © ARCADIS



11

© ARCADIS

Le fonctionnement, comme un mur en L, de cette partie supérieure de la structure, amélioré par la mise en place d'ancrages verticaux définitifs aidant à la reprise des efforts de glissement et basculement, permet d'avoir une structure optimisée et rigide pour reprendre les divers efforts, avec un minimum de flexion (figure 10).

En tête, à l'arrière des voiles, est réalisé un caniveau périphérique permettant l'acheminement de l'hydraulique pour le fonctionnement des *chain jacks* de l'ascenseur.

Une plateforme pour les plongeurs est également réalisée, en retour du bajoyer tribord. Disposée à la cote +1 NGF et desservie par un escalier, elle permettra aux plongeurs d'accéder facilement à la fosse lors des opérations de mise en place des navires.

Afin de réaliser ces travaux de terrassement et de génie civil, le groupement a opté pour la réalisation d'un batardeau provisoire composé, d'une part, d'un noyau en matériaux concassés (issu de la démolition) et, d'autre part, d'un rideau de palplanches. Pour assurer l'étanchéité de cet ouvrage, le rideau de palplanches a été battu jusqu'au toit rocheux. L'ensemble des eaux arrivant dans la fosse d'ascenseur est recueilli dans des puisards, puis pompé et évacué en mer. Ces eaux d'exhaure pouvant être potentiellement chargées en fines, un second barrage flottant est disposé dans le port (figure 6). Toujours dans un souci d'optimisation des matériaux, lors de la démolition de la digue, les matériaux seront récupérés et réu-

tilisés en remblai pour les terre-pleins. Le chantier d'entretien des navires étant toujours en activité pendant les travaux, le groupement, pour diminuer les risques de transport de poussière lors de fort coup de vent, a bâché et arrosé les tas de matériaux concassés, en limite du chantier (figure 6).

#### LA PLATEFORME INDUSTRIELLE

La plateforme générale, d'une superficie totale de 45 000 m<sup>2</sup>, est constituée de parkings, de surfaces logistiques et d'une plateforme pour le réaménagement des yachts. Cette dernière, d'une surface d'environ 39 200 m<sup>2</sup>, comprend sept emplacements pour les navires. L'acheminement des navires sur les

**11- Vue générale de la fosse - Semelle arrière et bétonnage des voiles.**

**12- Coffrage et ferrailage des semelles supports des rails.**

**11- General view of the pit - Rear foundation slab and wall concreting.**

**12- Formwork and rebars for foundation slabs supporting the rails.**

emplacements, depuis la fosse ascenseur, nécessite la pose d'un réseau de rails au sol, afin de permettre la circulation de plusieurs trains de boggies supportant le navire.

La fondation du réseau de rails doit respecter des critères de tassement sur une semelle ou un rail et de tassements différentiels entre semelles ou rails. En complément, le stockage des navires de maximum 4 300 t au droit des emplacements, sur leurs bers (plaque métallique de 80 cm de côté), peut se faire de manière aléatoire parallèlement à l'axe des rails, suivant la taille des navires. Afin de satisfaire à l'ensemble de ces contraintes, nous avons proposé la réalisation de semelles filantes en béton armé de 0,6 m d'épaisseur et de 3,4 m de largeur au droit des emplacements n°2 à 7 (figure 12), 3,7 m au droit de l'emplacement n°1 et 2,1 m de largeur dans la zone de transfert en partie centrale, reposant soit sur les remblais in situ, mais préalablement renforcés par un réseau d'inclusions rigides pour les emplacements n°2 à 7, soit sur un remblai de substitution, réalisé à partir des enrochements récupérés sur site et concassés, pour l'emplacement n°1, compte tenu de la proximité du toit rocheux. Ces travaux permettent de respecter les critères de tassement imposés au marché. Les semelles sont également encastrées en tête des voiles en béton de l'ascenseur. À l'issue des études de projet et en raison des contraintes d'interfaces, le groupement a proposé de fonder directement les semelles sur les inclusions



12

© ARCADIS

### 13- Atelier de foration des inclusions rigides.

### 13- Rigid inclusions drilling rig.

rigides, sans matelas de répartition. Le maillage des inclusions, réalisées en béton, Ø 420 mm ou 340 mm suivant les emplacements, est rectangulaire de 1,8 m x 2,2 m, voire 1,3 m x 2 m pour les zones de circulation.

Les inclusions rigides sont réalisées à la tarière creuse, avec enregistrement des paramètres de forage et de bétonnage (figure 13). Elles sont ancrées de 0,3 m ou 0,5 m dans le substratum compact ( $p_l > 8$  MPa) suivant le diamètre des inclusions et sont armées en tête. Compte tenu de la profondeur du toit rocheux, ces dernières ont des longueurs variables entre 3,5 m et 11 m. Les semelles filantes en béton armé sont fractionnées en éléments de 40 m de longueur environ, par des joints secs de dilatation.

Un renforcement du maillage des inclusions rigides est réalisé au droit de ces joints, afin de respecter les cri-



13  
© ARCADIS

ères de tassement au niveau des rails. La présence de vestiges d'anciens ouvrages (bajoyers, voiles, ...) fondés sur le rocher et conservés in situ, a nécessité l'adaptation du maillage des inclusions pour deux emplacements. Les inclusions sont soit ancrées sur ces ouvrages, soit déplacées et le ferrailage des semelles est alors adapté en conséquence.

### FINITIONS

Prochainement, le démontage du batardeau, la pose de murs de soutènement et le remblaiement des terre-pleins viendront terminer les travaux du groupement. Les travaux d'ensemble de la plateforme continueront avec d'autres marchés comme :

- La finalisation de la pose des réseaux (commencée en parallèle du lot 7), puis de la chaussée et des rails sur les semelle ;
- Le montage, à terre dans le prolongement de la fosse, de la plateforme de l'ascenseur (structure métallique) pour ensuite être positionnée dans la fosse ;
- Les bâtiments (logistique et commande de l'ascenseur) ;
- Les parkings et le port à sec. □

## CHIFFRES CLÉS

- Montant de travaux 27 M€ pour une durée de 18 mois
- Plateforme de 45 000 m<sup>2</sup>
- Mouvement de terre : 83 000 m<sup>3</sup>, dont 80 000 m<sup>3</sup> réutilisés sur site
- Dragage + déroctage maritime : 5 300 m<sup>3</sup>
- Béton : 13 000 m<sup>3</sup>
- Palplanches : 270 t (173 t pour 105 paires de AZ + 96 t pour 173 paires de PU)
- Tube + pieux : Ø 711 mm ep 14 mm soit 107 u (364 t)
- Inclusions rigides : 2 550 u de 3,5 m à 11 m (Ø 340 et 420 mm)

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** La Ciotat Shipyards

**GÉNIE CIVIL - TERRASSEMENT - DRAGAGE - QUAIS :**

groupement de conception et réalisation comprenant Vinci Construction Maritime et Fluvial (Mandataire), Gtm Sud, Vinci Construction Terrassement, Marengo, Keller Fondations Spéciales, Alizéo Environnement et Arcadis (Maîtrise d'œuvre Intégrée)

**ASCENSEUR ET SYSTÈME DE TRANSFERT :**

groupement Matière - Bardex

**VRD ET RAILS :** groupement Spie Batignolles, Malet et Bronzo

## ABSTRACT

### SHIP REPAIR PLATFORM FOR 4300-TONNE MEGA-YACHTS AT LA CIOTAT

LUC BARBOT, MANAGER DE PROJETS, ARCADIS

In order to have a more efficient ship repair platform, the La Ciotat shipyards have undertaken works to have a new ship lift of 11-metre draught, 250 metres of quays and a platform with seven work stations. To meet this target, the consortium proposed soil reinforcement by rigid inclusions at the level of the work stations, Combiwall quays with tie anchors and an anchoring inner curtain wall, and then vibrocompaction of the backfill. After nailing the rock faces, the concrete walls of the lift pit were stabilised by means of a rear foundation slab fitted with permanent non-prestressed anchors. Furthermore, an earthmoving study made it possible to optimise the recycling of site materials to minimise the impact of transport in a residential area. □

### PLATAFORMA DE REPARACIÓN NAVAL PARA MEGA YATES DE 4.300 T EN LA CIOTAT

LUC BARBOT, MANAGER DE PROJETS, ARCADIS

Para dotarse de una plataforma de reparación naval más eficaz, los astilleros de la Ciotat han iniciado unas obras para disponer de un nuevo ascensor para barcos de 11 m de calado, muelles a lo largo de 250 m y una plataforma con siete ubicaciones de trabajo. Para responder a este objetivo, el consorcio de empresas ha propuesto realizar refuerzos del suelo mediante inclusions rígidas perpendiculares a las ubicaciones, muelles en combiwall con tirantes y contra-pantalla de anclaje, y vibrocompactado de los terraplenes. Tras el clavado de los frentes rocosos, los muros de hormigón del foso del ascensor se han estabilizado mediante una zapata posterior dotada de anclajes pasivos definitivos. Por otra parte, un estudio del movimiento de las tierras ha permitido optimizar el reciclaje de los materiales del emplazamiento para minimizar el impacto del transporte en una zona residencial. □



**1- Aqueduc en charge partie amont après réalisation des travaux.**

**1- Aqueduct in service, upstream section after performance of the works.**

# TRAVAUX DE REMISE EN ÉTAT DES AQUEDUCS DE VIDANGE ET DE REMPLISSAGE DE 2 BASSINS DE LA BASE NAVALE DE BREST

AUTEURS : ANNE HONNEUR, CHEF DE SERVICE MARITIME ET PORTUAIRE AGENCE DE RENNES, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - SÉBASTIEN QUÉRÉ, INGÉNIEUR CHEF DE PROJET, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - GILDAS LE CORRE, INGÉNIEUR TRAVAUX, MARC SA - FRÉDÉRIC BUCHHOLZER, RESPONSABLE BUREAU D'ÉTUDES, MARC SA - ALAIN LAOT, ESID BREST

LES BASSINS DE LA BASE NAVALE DE BREST SONT DES OUVRAGES MAJEURS POUR L'ENTRETIEN DES NAVIRES DE LA MARINE NATIONALE. CONSTRUITS ENTRE 1910-1919 ET PROFONDÉMENT REMANIÉS APRÈS-GUERRE, L'ENTRETIEN RÉGULIER DONT ILS FONT L'OBJET PERMET D'ASSURER LEUR PÉRENNITÉ. UN RÉSEAU D'AQUEDUCS RELIÉ AUX BASSINS ET À LA STATION DE POMPAGE PERMET LES DIFFÉRENTS MOUVEMENTS D'EAU (> 40 000 m<sup>3</sup>/h) LIÉS À L'EXPLOITATION DE CES BASSINS. DEPUIS 2016, L'ESID DE BREST A ENGAGÉ D'IMPORTANTES TRAVAUX DE RÉHABILITATION DE CET OUVRAGE HORS NORMES.



© NAVAL GROUP  
2

## LE CONTEXTE DU PROJET

Les bassins situés au cœur de l'enceinte de la base navale de Brest sont des formes de radoub de conception relativement similaire (figure 2). Ces bassins construits entre 1910 et 1919 et remaniés dans les années 1950 ont pour but la mise en cale sèche des bateaux pour entretien.

**2- Exemple d'un bassin en exploitation.**

**2- Example of a dock in operation.**

Les mouvements d'eau des bassins (vidange/remplissage) sont réalisés au moyen d'une station de pompage souterraine réalisée entre 1947 et 1950 et d'un ensemble d'aqueducs.

Les travaux de rénovation de la présente opération concernent ces aqueducs. Ceux-ci ont été construits entre 1947 et 1955.

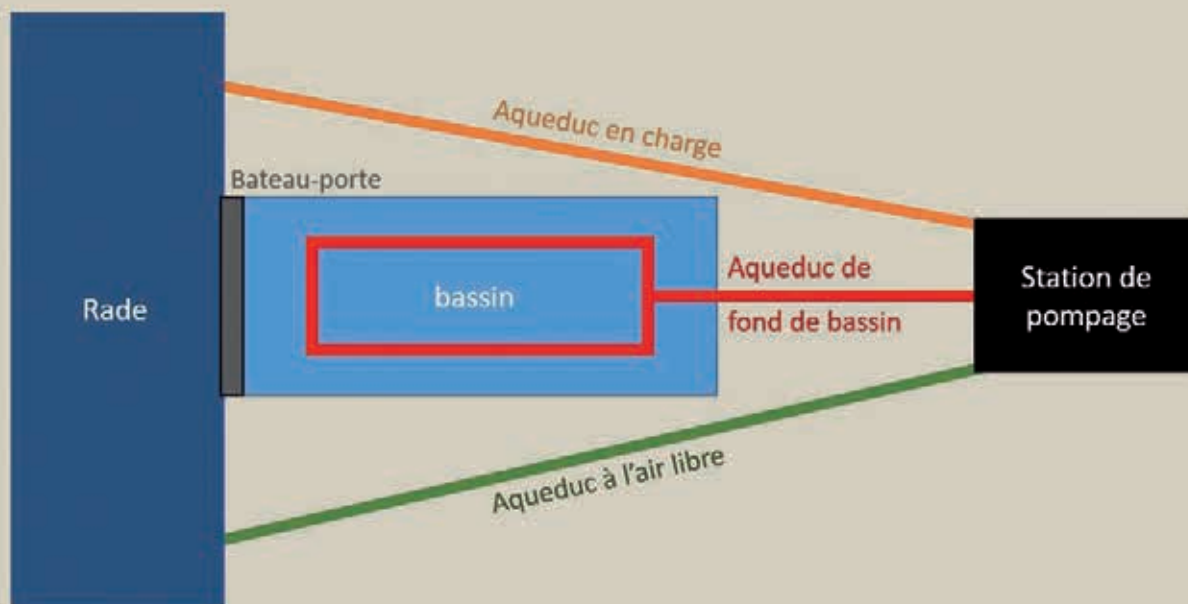
On distingue 2 groupes d'ouvrages dans ce réseau d'aqueducs (figure 3) :

- Les aqueducs d'aspiration/remplissage en fond de bassin reliant les bassins à la station de pompage, nommés "aqueduc de fond de bassin" ;
- Les aqueducs de remplissage et de vidange reliant la station de pompage à la mer, nommés "aqueduc en charge" et "aqueduc à l'air libre".

Le projet consiste en la réfection des aqueducs des bassins, sur le site de la Base Navale de Brest. Les travaux sont réalisés dans le cadre d'un marché de Conception Réalisation par le groupement Marc SA (mandataire, responsable de la réalisation), Ingerop (cotraitant, responsable de la conception), Creoccean (cotraitant, responsable des études environnementales) et Geos (sous-traitant géotechnique) comportant :

- L'ingénierie de conception et réalisation ;
- Les prestations intellectuelles relatives aux études environnementales ;
- Les travaux de réfection des aqueducs :
  - L'aqueduc de refoulement en charge,
  - Les aqueducs de fond de bassins. ▷

## SCHÉMA DE PRINCIPE DU RÉSEAU D'AQUEDUCS AVEC UN SEUL BASSIN



3

### RAPPEL HISTORIQUE

Commencés en 1910, ces bassins de la base navale de Brest ont été achevés au cours de la première guerre mondiale. Durant un quart de siècle leurs dimensions ont satisfait les besoins de la Marine française. Cependant, à la veille de la seconde guerre mondiale, il est envisagé la création d'un nouveau bassin à proximité pour permettre l'accueil de navires plus importants.

Au cours de la seconde guerre mondiale, ces bassins furent utilisés par les Allemands et quelque peu remaniés. Puis, juste avant la reddition allemande, les bassins furent sabordés afin de les rendre inutilisables. Dès 1945, la Marine française souhaita leur remise en état. Les travaux de réhabilitation et de rénovation des bassins commencèrent en 1947 et s'achevèrent en 1950. La Marine nationale profita de ces travaux, pour allonger les 2 bassins d'environ 60 m vers la rade, à l'abri d'un batardeau de 300 m, afin de permettre l'accueil de navires plus importants. La réalisation d'un nouveau bassin n'était alors plus nécessaire.

Enfin, l'expérience de la guerre avait mis en relief la vulnérabilité des installations de remplissage et de vidange des bassins. Il fut donc également entrepris de réaliser une nouvelle station de pompage souterraine ainsi qu'un réseau d'aqueducs entre 1947 et 1955 (figure 4). Ces solutions per-

mettaient d'obtenir une protection efficace des organes de remplissage et de vidange, nécessaires à la sécurité de l'installation.

### DESCRIPTIF DU PROJET

Le réseau d'aqueducs, soumis à des mouvements d'eau très réguliers, a subi des dégradations au cours de son exploitation. L'enjeu du projet consiste en la réfection de l'ensemble de ce

**3- Schéma de principe fonctionnel du réseau.**

**4- Aqueduc en charge 1951.**

**3- Functional block diagram of the network.**

**4- Aqueduct in service in 1951.**

réseau d'aqueducs, pour permettre de pérenniser les installations de vidange, pompage et remplissage, mais également pour assurer la sécurité de la station de pompage en évitant que les dégradations constatées sur les aqueducs entraînent un risque d'endommagement des pompes de la station souterraine. Les aqueducs concernés par les présentes rénovations sont présentés ci-dessous.

### AQUEDUCS DE FOND DE BASSIN

Ces aqueducs se situent sous les radiers des bassins (figures 5 et 6). Ils sont constitués :

- D'aqueducs de fond de bassin composés de deux branches d'une longueur de 190 m environ chacun, ils communiquent entre eux au sud par un rameau Est-Ouest ;
- D'aqueducs d'aspiration/remplissage qui relient les aqueducs de fond de bassin à la station de pompage. Ils se composent de 2 ovoïdes qui relient les branches Est et Ouest à une galerie de jonction avec la station de pompage.

### AQUEDUCS EN CHARGE

Cet aqueduc se situe sous le niveau 0 CM96, c'est-à-dire sous le niveau des plus basses mers et, par conséquent, celui-ci est toujours rempli d'eau, d'où son appellation d' "aqueduc en charge". Il s'agit d'un ovoïde de plus



4

© REVUE TRAVAUX NOVEMBRE 1953



## VUE EN COUPE DES AQUEDUCS SOUS BASSIN

© MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

5



de 500 m de longueur, de section "fer à cheval", fermé par un radier et de largeur et hauteur identiques de 2,93 m sur toute la longueur. La section intérieure utile dégagée est de 7 m<sup>2</sup>.

Les caractéristiques connues sont :

- L'aqueduc a été construit dans la roche à l'aide d'explosif ;
- Le revêtement de l'aqueduc est en béton non armé ;

### 5- Vue en coupe des aqueducs sous bassin.

### 6- Aqueducs de fond de bassin.

### 5- Cross-section view of the aqueducts under the dock.

### 6- Aqueducts at bottom of dock.

- L'épaisseur théorique du radier est de 30 cm (mais les investigations indiquent des épaisseurs variables de 10 à 30 cm) ;
- L'épaisseur théorique des piedroits et de la voûte est de 40 cm (mais les investigations indiquent des épaisseurs variables de 30 à 55 cm pour la voûte et de 40 à 70 cm pour les piedroits).

## LES CONTRAINTES TECHNIQUES

Les contraintes techniques peuvent être regroupées suivant 5 axes majeurs : la géologie, la continuité opérationnelle du site durant les travaux, les performances des ouvrages à maintenir, les contraintes environnementales et les contraintes d'accès et de travail en milieu confiné.

## CONTRAINTES GÉOTECHNIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES

Les contraintes géologiques sont multiples et ont dû être analysées et prises en compte pour permettre de limiter les risques lors de la phase travaux, notamment pour la rénovation de l'aqueduc en charge.

En effet, cet ouvrage n'ayant jamais été vidangé depuis sa construction, les perméabilités du revêtement de l'aqueduc, des remblais, du rocher et les venues d'eau éventuelles n'étaient pas connues.

Des études ont donc été menées pour estimer ces éléments afin de sécuriser ▷



© MARC SA

6

les travaux, et déterminer notamment les débits de pompage attendus lors de la réalisation des ouvrages.

### CONTRAINTES D'EXPLOITATION

Pendant toute la durée des travaux sur l'aqueduc de refoulement en charge, la continuité opérationnelle des bassins doit être assurée. Ceci implique que des navires continueront d'être mis en cale pendant les travaux, dont la durée était initialement estimée à 12 mois. Durant cette période, seul un second aqueduc, appelé "aqueduc à l'air libre", assure la fonction de remplissage et de vidange avec les contraintes d'exploitation associées. En cas de besoin, des pompes de secours sont prévues pour permettre de sécuriser le maintien à sec des bassins.

### PERFORMANCE DES OUVRAGES À CONSERVER

Afin d'assurer la continuité opérationnelle des ouvrages après travaux en conservant le même niveau de service, les travaux de rénovation des aqueducs

ne doivent pas conduire à une régression des performances des installations. Dans ce cadre, le projet prévoit donc la remise en état "à l'identique" des aqueducs, afin de maintenir les caractéristiques géométriques des ouvrages pour permettre de garantir les performances hydrauliques initiales de la station de pompage.

### IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Dans le cadre de ce projet, des études environnementales ont été réalisées afin de s'assurer de la prise en compte des contraintes relatives à l'environnement et de respecter les procédures réglementaires préalables aux travaux, conformément à la loi sur l'eau. Les méthodologies de remise en état des aqueducs prévoient une mise à sec de l'aqueduc en charge pour la réalisation des travaux avec mise en place de batardeaux côté mer.

Les phases travaux doivent prendre en compte la proximité immédiate du milieu marin en mettant en œuvre les moyens

adaptés pour éviter tout rejet en mer lors de l'évacuation des déchets solides. Il a donc été prévu pour cela la mise en place de bassins de décantation pour le traitement des eaux des zones de travaux avant tout rejet en mer.

### CONTRAINTES D'ACCÈS ET MILIEU CONFINÉ - AQUEDUC EN CHARGE

L'aqueduc en charge a une section relativement réduite de 7 m<sup>2</sup> pour permettre de réaliser aisément les travaux (figures 4 et 9) et a une longueur importante (> 500 m). Afin de permettre la réalisation des travaux et pour garantir la sécurité des travailleurs, il a été envisagé de réaliser des puits d'accès travaux. Cet ouvrage complémentaire permet, en plus de faciliter l'accès des travailleurs et d'assurer l'approvisionnement en matériaux et matériels, de créer une issue de secours supplémentaire au milieu de l'aqueduc. Cet ouvrage sera présenté plus en détail dans la suite de l'article.

### LES CONTRAINTES DE RÉALISATION

**TRAVAUX DE RÉFECTION DE L'AQUEDUC EN CHARGE**  
**Pour les travaux de réfection de l'aqueduc en charge les principales**

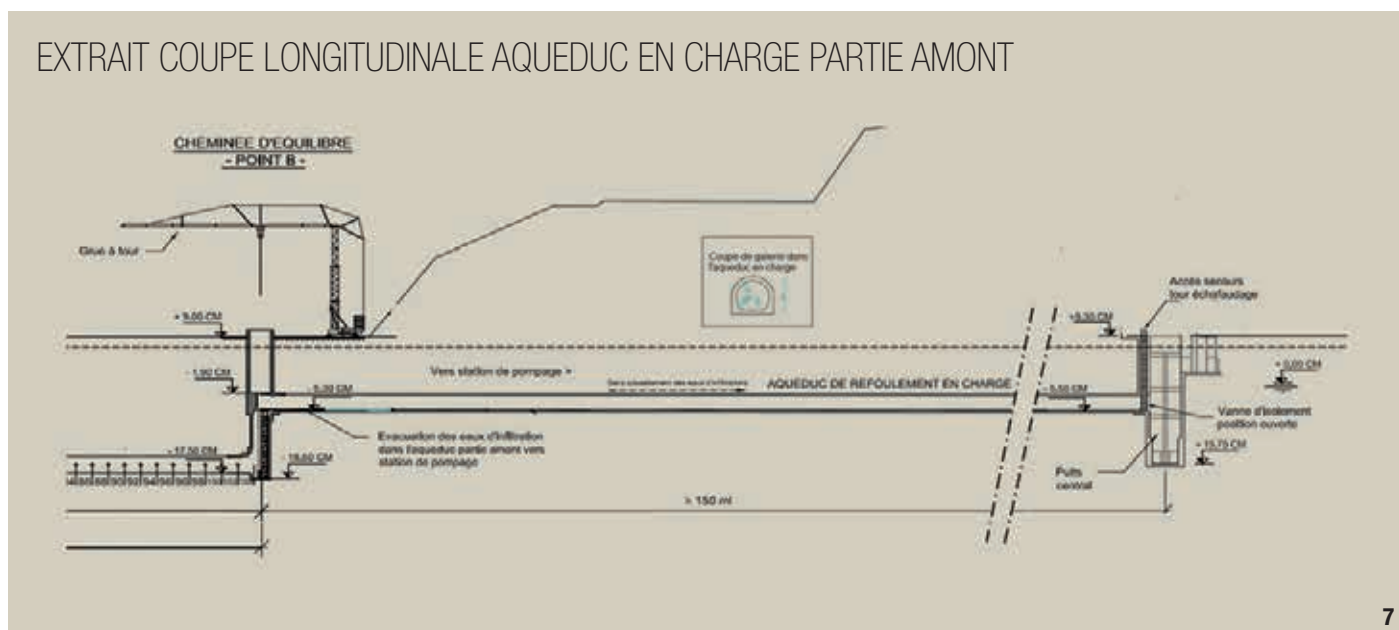
**7- Extrait coupe longitudinale aqueduc en charge partie amont.**

**8- Extrait coupe longitudinale aqueduc en charge partie aval.**

**7- Excerpt from longitudinal section of aqueduct in service, upstream section.**

**8- Excerpt from longitudinal section of aqueduct in service, downstream section.**

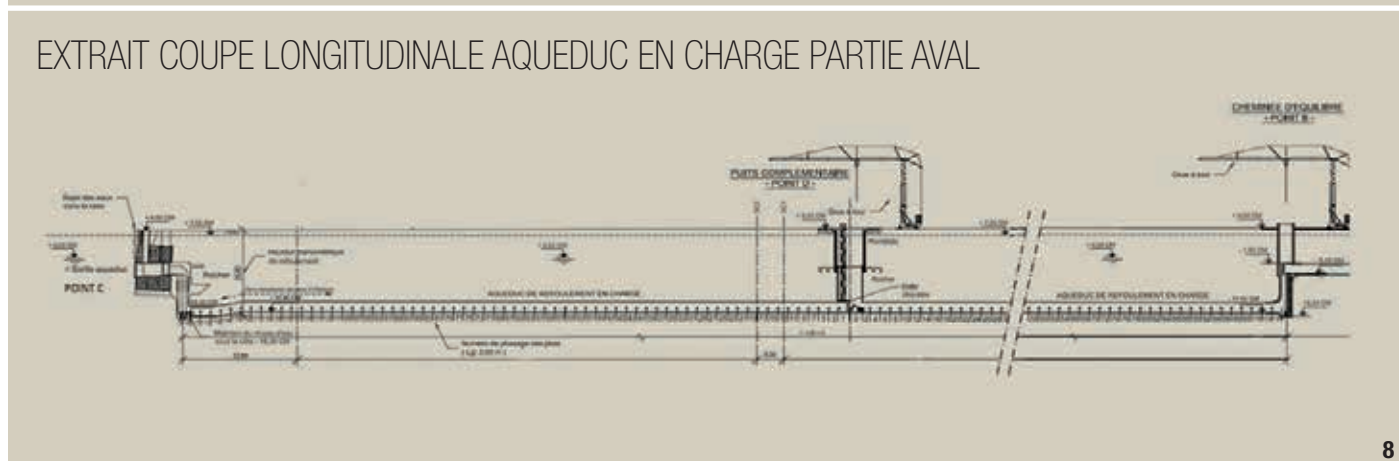
EXTRAIT COUPE LONGITUDINALE AQUEDUC EN CHARGE PARTIE AMONT



7

© MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

EXTRAIT COUPE LONGITUDINALE AQUEDUC EN CHARGE PARTIE AVANT



8

© MINISTÈRE DE LA DÉFENSE



© ESD

9

contraintes de réalisation sont liées à la stabilisation provisoire de l'ouvrage à sec en phase travaux, à la mise au sec de l'aqueduc et à l'accès.

Compte tenu des seuls accès existants par les points B et C (figures 7 et 8), le groupement a prévu la réalisation d'un puits d'accès en partie centrale du tronçon aval de l'aqueduc en charge. Ce puits d'accès intermédiaire, d'une hauteur totale de plus de 26 m, permet d'accéder à l'aqueduc en sécurité,

**9- Butons mis en place.**

**10- Travaux de réfection des aqueducs fond de bassin.**

**9- Struts placed in position.**

**10- Repair work on aqueducts at bottom of dock.**

de mener les travaux simultanément vers l'amont et l'aval et d'optimiser ainsi le délai global des travaux. Cet accès est doté d'une tour escalier pour permettre l'évacuation des intervenants et d'un monte-charge pour les approvisionnements et évacuations nécessaires à la réalisation du chantier. Ce puits a permis également au groupement de descendre dans l'aqueduc les systèmes d'extraction/ventilation et d'éclairage nécessai-

res à la sécurité des intervenants. Il est à noter que le puits d'accès prévu par le groupement s'inscrit dans l'emprise d'un puits de service utilisé lors de la construction de l'aqueduc en 1951.

**Pour la mise à sec de l'ouvrage,** il a été nécessaire de déterminer à l'aide d'une campagne de reconnaissance géotechnique complémentaire les moyens de pompage à mettre en œuvre pour vider l'aqueduc en charge et évacuer les éventuelles venues d'eau résiduelles en fonction de la perméabilité des remblais, du rocher et des parois de l'aqueduc.

La solution retenue consiste en l'utilisation de pompes immergées, en capacité et en nombre suffisants, afin d'en assurer le remplacement en cas de panne avec les pompes de secours stockées sur le chantier, et de réaliser une mise à sec progressive de l'aqueduc en charge. Il a également été prévu de réaliser des événements dans le radier pour permettre d'évacuer l'eau éventuellement présente sous le radier et ainsi réduire autant que possible les sous-pressions résiduelles pendant la durée des travaux.

Pour l'isolement et l'obturation de l'aqueduc en charge pendant les travaux, il a été prévu la mise en place de batardeaux côté rade au point C.

La mise à sec de l'aqueduc devait aussi s'accompagner de la maîtrise et du contrôle des eaux chargées (turbidité et micropolluant), de la gestion des déchets, de l'évacuation des sédiments en filière contrôlée afin de respecter la qualité des eaux rejetées en rade de Brest, ce point constituant la principale contrainte environnementale du projet. ▷



© MARC SA

10

**Pour la stabilisation provisoire de l'ouvrage** à sec en phase travaux il a été nécessaire de concevoir et mettre en œuvre, avant pompage, à l'aide de plongeurs scaphandriers, des butons transversaux (figure 9) entre les piédroits de l'aqueduc en charge.

Ce butonnage est fonction de la qualité du massif et du radier existants et a été déterminé par une estimation des efforts repris par la structure en fonction de la charge du terrain et de la pression d'eau. Une fois l'aqueduc mis à sec et après constat de l'état de l'ouvrage et des faibles venues d'eau résiduelles, une partie des butons a pu être déposée sans risque pour l'ouvrage, avant réalisation du nouveau radier.

## TRAVAUX DE RÉFECTION DES AQUEDUCS DE FOND DE BASSINS

### Pour les travaux de réfection des aqueducs de fond de bassins

- les principales contraintes de réalisation sont liées à la nécessité de maintenir au plus bas le niveau d'eau dans les aqueducs à l'aide des pompes d'assèchement de la station de pompage et de dévier les gros débits d'eau en provenance du côté mer des bassins. Le détail de ces travaux est le suivant :
- Repiquage et purge des anciens enduits et bétons dégradés ;
  - Mise en place de drains en piédroits et voûtes afin de canaliser les eaux d'infiltration traversant les parois des aqueducs ;
  - Campagne généralisée de traitement des cavités et décollements des enduits au niveau des piédroits et voûte des aqueducs ;
  - Réalisation de purges et ragréages localisés au niveau du radier (figure 10).

Ces travaux nécessitent la mise à sec par tronçons des aqueducs, à l'aide de rétentions provisoires et de moyens de pompage adaptés.

## MÉTHODE DE RÉALISATION ET PHASAGE

### TRAVAUX DE L'AQUEDUC EN CHARGE

Le phasage de réalisation retenu par le groupement pour la réfection de l'aqueduc en charge, et notamment la réfection totale du radier, est le suivant :

- Mise en œuvre d'un batardeau en sortie d'aqueduc côté mer et installation de moyens de pompage adaptés ;
- Mise en œuvre par plongeurs de butons avant mise à sec de l'aqueduc (figure 9) ;



11 © INGEROP

- Mise à sec de l'aqueduc sur une période de 2 jours afin de réduire le gradient hydraulique lors de cette phase transitoire et suivi de l'évolution éventuelle des structures ;
- Démolition du radier existant par plots à l'aide d'engins électriques (figure 11) ;
- Évacuation des gravats ;
- Réalisation du plot de radier reconstruit en béton armé (figure 12) ;
- Dépose des butons à l'avancement des coulages du radier ;
- Réalisation d'évents dans le radier permettant de capter les éventuelles

**11- Travaux de réfection de l'aqueduc en charge - démolition du radier.**  
**12- Réalisation du ferrailage du radier.**

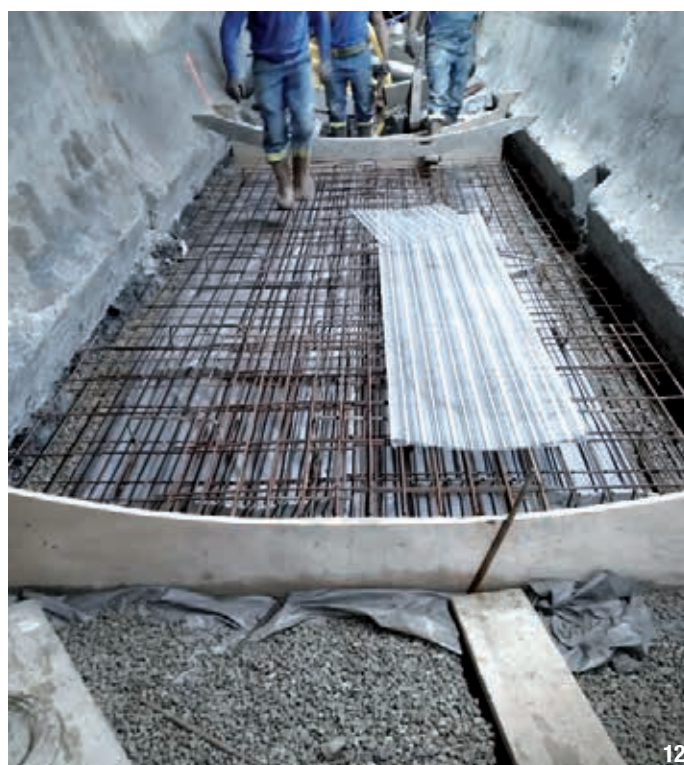
**11- Repair work on the aqueduct in service - demolition of the foundation raft.**  
**12- Execution of foundation raft reinforcement.**

- venues d'eau sous radier et de limiter les sous-pressions ;
- Réfection des zones de parements dégradés des piédroits et de la voûte (figure 1).

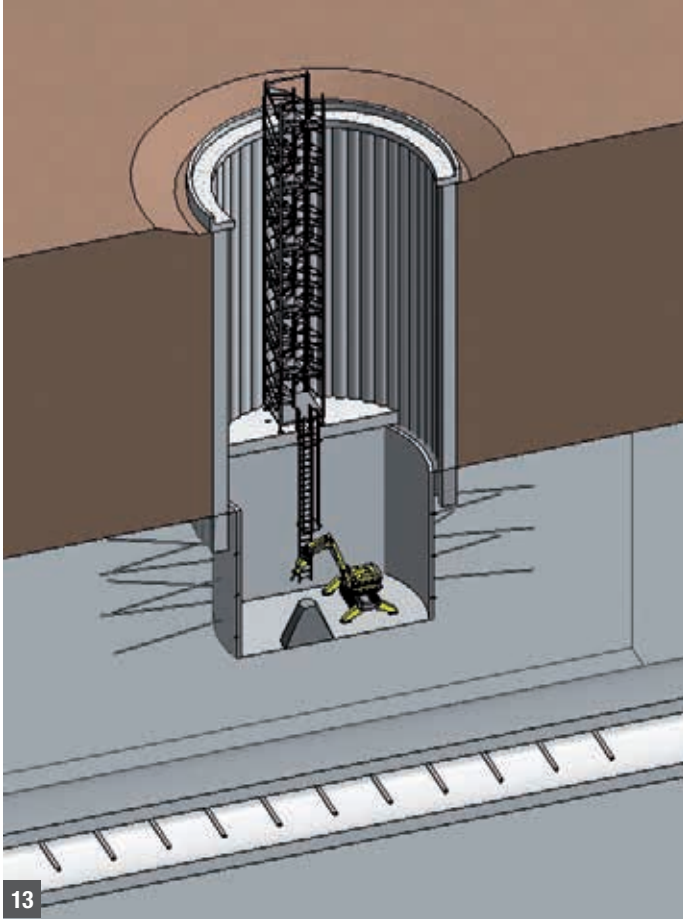
## PHASAGE DE RÉALISATION DU PUIXS D'ACCÈS

Afin de permettre la réalisation des travaux de réfection de la partie aval de l'aqueduc en charge dans les délais prévus (voir ci-avant), le groupement a imaginé la réalisation du puits d'accès intermédiaire (figures 13 et 14), dont le phasage de réalisation retenu est le suivant :

- Réalisation de pieux sécants du niveau du terrain naturel jusqu'au toit du rocher ;
- Réalisation d'un rideau d'injection à l'extérieur de l'enceinte en pieux sécants ;
- Terrassements des sables jusqu'au toit du rocher et réalisation d'une lierne en béton armé ;
- Terrassements dans le rocher ;
- Mise en œuvre de clous dans le rocher pour assurer sa stabilité ;
- Coffrage et coulage d'une paroi en béton armé par levée de 2,40 m de hauteur du toit du rocher jusqu'au toit de l'aqueduc ;
- Réalisation d'une dalle béton d'assise au niveau du toit de l'aqueduc pour permettre l'installation des accès et des équipements ;
- Démolition de la voûte de l'aqueduc ;
- Mise en place d'une tour escalier d'accès, d'un monte-charge et des équipements de sécurité nécessaire (extraction/ventilation, éclairage, pompage, ...).



12 © INGEROP



13

© INGEROP



14

© INGEROP

### TRAVAUX SUR LES AQUEDUCS DE FOND DE BASSIN

Le phasage de réalisation retenu par le groupement pour les travaux de réfection des aqueducs de fond de bassins est défini ci-dessous. Il consiste en deux actions principales : le traitement des défauts du radier puis le traitement des parois verticales et de la voûte (figure 10).

Traitement des défauts du radier :

- Confection de batardeaux pour la mise à sec du tronçon à traiter ;
- Installation de pompes immergées pour pompage des eaux ;
- Délimitation des cavités à combler ;
- Repiquage pour enlèvement des parties non adhérentes ;
- Comblement au mortier ou au micro-béton suivant le volume à traiter.

Traitement des parois verticales et de la voûte :

- Installation planchers de travail ;
- Repérage contradictoire puis découpage de la zone à ragréer ;
- Décapage au marteau piqueur ;
- Forages et scelllements de drains ;
- Réparation des parements par mortier projeté en une ou plusieurs passes suivant l'épaisseur ;
- Nettoyage de la zone et évacuation des déchets. □

**13- Modélisation du puits travaux.**  
**14- Puits travaux en cours de réalisation.**

**13- Work shaft modelling.**  
**14- Work shaft undergoing construction.**

### CHIFFRES CLÉS

**STATION DE POMPAGE :** 4 pompes de vidange/remplissage de débit unitaire 21 600 m<sup>3</sup>/h

**AQUEDUCS :** Près de 2000 m de galerie à remettre en état (section de travail minimale : 7 m<sup>2</sup>)

**BUTONNAGE PROVISOIRE :** 160 butons à positionner par des scaphandriers entre -17 m et -25 m du niveau de la mer

**PUITS TRAVAUX PROVISOIRE :** Puits d'accès de 25 m de hauteur à réaliser en pieux sécants et parois clouée

**DURÉE DES TRAVAUX :** Approximativement 3 ans

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Établissement du service d'infrastructure de la Défense de Brest

**GROUPEMENT DE CONCEPTION-RÉALISATION :**  
Groupement Marc SA (mandataire) / Ingerop (cotraitant) / Creocan (cotraitant) / Geos (sous-traitant)

### ABSTRACT

#### REPAIR WORK ON THE AQUEDUCTS FOR EMPTYING AND FILLING 2 DOCKS AT BREST NAVAL BASE

A. HONNEUR, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - S. QUÉRÉ, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - G. LE CORRE, MARC SA - F. BUCHHOLZER, MARC SA - A. LAOT, ESID BREST

The works aim to repair the aqueducts needed for draining docks 8 and 9 at Brest Naval Base, which were constructed more than 100 years ago. The works are performed in a confined and cramped environment on structures located below sea level, with severe operating constraints related to the site's military activity. Complete draining of the structure in a complicated geological environment required in-depth design and methodological studies, taking into account the possible environmental impact involved. An access shaft created specifically for the operation allows secure access to the structures and optimises the work completion time. □

#### TRABAJOS DE REHABILITACIÓN DE LOS ACUEDUCTOS DE DRENAJE Y LLENADO DE 2 ESTANQUES DE LA BASE NAVAL DE BREST

A. HONNEUR, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - S. QUÉRÉ, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - G. LE CORRE, MARC SA - F. BUCHHOLZER, MARC SA - A. LAOT, ESID BREST

Las obras tienen como objetivo rehabilitar unos acueductos necesarios para drenar los estanques 8 y 9 de la Base Naval de Brest, construida hace más de 100 años. Las obras se llevarán a cabo en un entorno confinado y exiguo, sobre construcciones situadas bajo el nivel del mar, con fuertes limitaciones operativas derivadas de la actividad militar de la base. El drenaje completo de la construcción en un contexto geológico complicado ha precisado profundos estudios de diseño y método, teniendo en cuenta el eventual impacto medioambiental asociado. Un pozo de acceso creado específicamente para la operación protege el acceso a las obras, al tiempo que optimiza el plazo de realización. □



1

© CÉDRIC HELSLY

# LE HAVRE PORT 2000 - PHASE 3 - SUITE ET FIN D'UN PROJET AU LONG COURT

AUTEURS : ETIENNE RAIMBAULT, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, SOLETANCHE BACHY FRANCE - PIERRE GALLIARD DE LAVERNEE, INGÉNIEUR PRINCIPAL, SOLETANCHE BACHY FRANCE - STÉPHANE GALY, DIRECTEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE - CHRISTOPHE DUBERN, RESP. PÔLE TRAVAUX NEUFS, MAINT. & SURV. OUVRAGES, HAROPA PORT - PHILIPPE JOIGNANT, RESP. PÔLE ÉTUDES GÉOTECHNIQUES ET STRUCTURES, HAROPA PORT

**SOLETANCHE BACHY FRANCE, MANDATAIRE D'UN GROUPEMENT AVEC ATLANTIQUE DRAGAGE ET BOUYGUES TP RF POUR LE GÉNIE CIVIL, RÉALISE POUR HAROPA PORT / LE HAVRE LA CONSTRUCTION DES POSTES 11 & 12 DE PORT 2000 DANS LE PROLONGEMENT DES 3500 m DES DIX PREMIERS POSTES À QUAI RÉALISÉS PAR SOLETANCHE BACHY LORS DES DEUX PREMIÈRES PHASES DANS LES ANNÉES 2000. CES POSTES À QUAI POUR PORTE-CONTENEURS ONT UNE LONGUEUR DE 350 m ET UN TIRANT D'EAU DE 17 m. LE MARCHÉ DE CONCEPTION-RÉALISATION COMPREND AUSSI UN QUAI EN RETOUR DE 111 m, LES DRAGAGES, LA PROTECTION ANTI-AFFOUILLEMENT, DEUX DUCS D'ALBE D'AMARRAGE DE 350 t, L'AMÉNAGEMENT DE 47 ha DE TERRE-PLEINS ET L'AUSCULTATION DE L'OUVRAGE.**

## HISTORIQUE DU PROJET

Au début des années 2000, Haropa Port/Le Havre (ancien Grand Port Maritime du Havre regroupé avec les ports de Rouen et de Paris depuis le 1<sup>er</sup> juin 2021) se lance dans la réalisation de 12 nouveaux postes à quai de 350 m, dans le but de doubler son trafic de conteneurs à moyen terme.

Ces postes à quai et leurs terre-pleins permettent de recevoir de plus grands porte-conteneurs sans dépendre du niveau de marée ni du passage

d'écluses. La phase 3 de ce projet de grande ampleur consiste en la création des deux derniers postes sur un linéaire utile de 700 m et d'un quai en retour de 111 m.

L'entreprise Soletanche Bachy est impliquée dans chacune des 3 phases de construction de Port 2000 :

- Phase 1 (2001-2005) : réalisation des 4 premiers postes à quai et des terre-pleins de la phase 2 ;
- Phase 2 (2007-2010) : réalisation des postes 5 à 10 et des terre-pleins de la phase 3 ;

1- Vue d'ensemble du projet Port 2000 - Phase 3.

1- Overall view of the Port 2000 project - Phase 3.

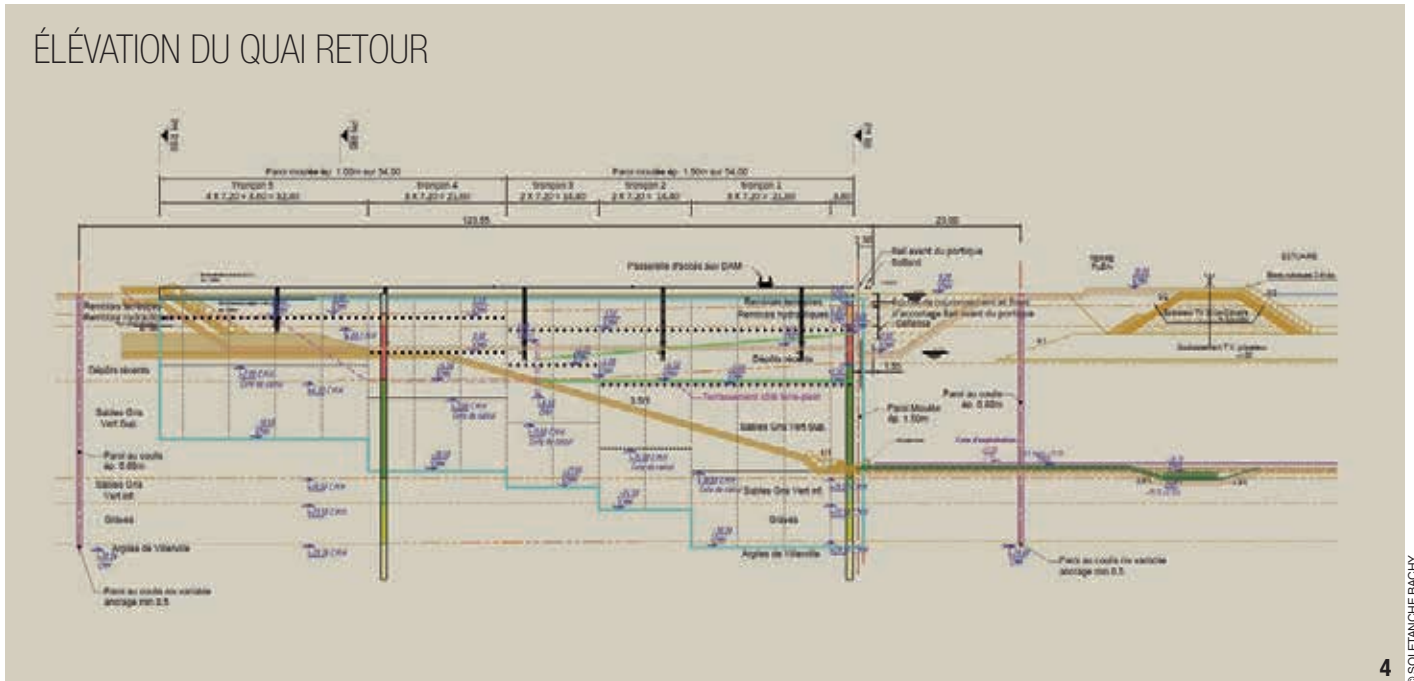
- Phase 3 (2020-2022) : construction des 2 derniers postes à quai du projet et pose d'un dispositif anti-affouillement le long du quai (figure 1).

## DESCRIPTIF DES TRAVAUX ET CONCEPTION (figure 2)

Dans le cadre de la phase 3 de Port 2000, Soletanche Bachy intervient en tant que mandataire d'un groupement comprenant notamment Bouygues Travaux Publics Régions France pour la réalisation du génie civil et Atlantique Dragages (groupe Boskalis) pour les opérations de dragage. La maîtrise d'œuvre est assurée par Haropa Port/Le Havre, tant sur la phase conception que sur la phase exécution. Les travaux consistent en la création



## ÉLÉVATION DU QUAI RETOUR



4

© SOLETANCHE BACHY

### CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

La géologie du site est caractérisée depuis la surface par :

- Une première couche de remblais terrestres et hydrauliques sur 7 à 10 m, mis en œuvre lors des phases précédentes de Port 2000. Ces remblais sont essentiellement sableux.
- Une couche de dépôts récents sablo-limoneux correspondant à l'ancien lit de la Seine sur une épaisseur de 2 à 8 m, qui présentent généralement de faibles caractéristiques de cisaillement (figure 3).

→ Une couche de 15 à 20 m de sables gris-verts pouvant présenter quelques passées silteuses. Cet horizon peut lui-même être divisé en 2 sous-couches :

- Les sables gris-verts supérieurs, plus fins, et présentant une forte anisotropie du fait de lits silteux intercalés, qui constituent un premier aquifère moyennement perméable ;
- Les sables gris-verts inférieurs, plus grossiers, avec des graviers roulés et des galets, qui constituent avec les graves de fond un second aquifère très perméable, en quasi-équilibre avec la marée.

### 4- Élévation du quai retour.

### 5- Cohabitation des activités de paroi au coulis et de paroi moulée.

### 4- Elevation view of side quay.

### 5- Cohabitation of grout wall and diaphragm wall operations.

→ Une couche de graves de fond de 3 à 5 m d'épaisseur, très perméable.

→ Les argiles de Villerville, qui forment le substratum très peu perméable dans lequel vient s'ancreur la paroi moulée constitutive du quai, ceci dans le but de s'affranchir de gradients hydrauliques des deux côtés de la paroi.

### OPTIMISATION PROPOSÉE PAR SOLETANCHE BACHY

L'ensemble du poste 11 et l'essentiel du poste 12 est réalisé selon la solution technique imaginée par Haropa Port/Le Havre, avec un tirant inférieur posé à la cote -8,00 CMH au niveau de la



5

© CÉDRIC HELSLY





6

© SOLETANCHE BACHY

paroi moulée et -5,50 CMH au niveau du rideau arrière en palplanches. Comme cela avait été fait sur un certain linéaire de la phase 2, les 50 derniers mètres du poste 12 sont réalisés avec une conception légèrement différente, qui consiste essentiellement en une remontée du tirant inférieur, posé horizontalement à la cote -4,50 CMH entre la paroi moulée et le rideau arrière. Cette disposition est rendue possible par un approfondissement local du substratum argileux et donc de la fiche de paroi, qui permet de compenser l'augmentation de butée

**6- Levage à l'horizontale des cages d'armature.**

**7- Réalisation du masque d'accostage côté bassin.**

**6- Horizontal lifting of rebar cages.**

**7- Execution of the berth facing wall on the harbour basin side.**

mobilisée engendrée par la remontée du tirant. Le recours à cette disposition variante est intéressant pour deux raisons :

- Il permet de limiter les volumes de déblais et remblais pendant les phases travaux ;
- Il permet de réduire l'énergie de pompage côté terre-plein, avec une profondeur de rabattement réduite par rapport à la conception de base.

Par ailleurs, les fondations des ducs d'Albe initialement prévues en structures métalliques ont été réalisées en barrettes de paroi moulée.

#### **CAS PARTICULIER DU RETOUR DE QUAI** (figure 4)

Le retour de quai n'est pas destiné à accueillir des navires, mais à retenir les remblais du dernier poste. Un accès pour les bateaux de servitude est possible sur cette partie d'ouvrage. La cote d'exploitation côté bassin est variable, avec une pente à 3,5/1 depuis le quai principal vers l'extrémité du retour. À noter également que la paroi n'est ancrée dans les argiles de Villerville que sur les 22 premiers mètres. Sur les 86 m de quai restants, Soletanche Bachy a donc eu plus de liberté que sur le quai principal pour proposer diverses optimisations concernant la fiche de paroi, les tirants d'ancrage et le rideau arrière, et même l'épaisseur de paroi qui est réduite à 1,20 m sur les 50 derniers mètres de quai.

#### **PHASAGE TRAVAUX DÉTECTION PYROTECHNIQUE**

La ville du Havre et ses installations portuaires ayant subi de nombreux bombardements pendant la seconde guerre mondiale, il est nécessaire de procéder, préalablement à toute activité de forage ou de terrassement, à une campagne de détection pyrotechnique. Il s'agit de localiser, dans l'enceinte du projet, d'éventuelles munitions de guerre.

Le linéaire des parois moulées et coulés est quadrillé avec un maillage dense de forages, avant détection par magné-



7

© CEDRIC HELSY



© SOLETANCHE BACHY

Sur les autres zones de travaux, avant les terrassements une détection pyrotechnique est réalisée par passes, en détectant sur 5 m, avant d'autoriser le terrassement sur 4 m. Une détection maritime vient compléter ceci à l'avant de l'ouvrage pour la déconstruction de la digue et le début des dragages.

#### RÉALISATION DE L'ENCEINTE ÉTANCHE

L'enceinte étanche périmétrale en paroi au coulis, ancrée dans les argiles de Villerville, facilite le rabattement de la nappe avant les opérations de terrassement des deux côtés du quai. La réalisation de cet ouvrage provisoire est évidemment couplée à la mise en place d'un dispositif de pompage comprenant puits et piézomètres (sélectifs ou non) permettant de rabattre et de contrôler efficacement les niveaux de nappe.

#### RÉALISATION DE LA PAROI MOULÉE (figure 5)

Vient ensuite le forage de la paroi moulée, qui va s'ancrer sur une hauteur

de 1 m dans les argiles de Villerville, à environ 40 m de profondeur.

Les panneaux de paroi de 7,20 m de long sont équipés de 2 cages d'armatures de 3,15 m chacune.

Le poids des cages varie entre 18 et 25 t sur le linéaire du quai principal, à l'exception du panneau d'angle à la jonction avec le retour de quai, qui accueille 2 cages liaisonnées "en L" sur toute leur hauteur, pour un poids total de 42 t.

On dispose de suffisamment de place sur site pour que les 3 éléments constitutifs des cages soient rabotés sur place en position horizontale ; les cages sont ensuite descendues dans leurs panneaux respectifs entièrement assemblées. Cette opération, inhabituelle sur la plupart des chantiers urbains avec des emprises plus réduites, nécessite une phase de levage à l'horizontale avant le passage à la verticale, qui se fait par le biais de deux grues et un ensemble de palonniers équipés de poulies, complété par un système d'accroche spécifique sur les cages (figure 6).

#### 8- Terrassements en cours côté terre-plein.

#### 9- Mise en évidence des différentes enceintes de rabattement de nappe.

#### 8- Earthworks underway on earthfill area side.

#### 9- Illustration of the various groundwater lowering chambers.

la voie de roulement avant des portiques et les bollards pour l'amarrage des navires, est réalisée dans un second temps. Afin de ne pas sur-solliciter cette poutre en phases travaux, des plots de clavage sont disposés tous les 4 panneaux, soit tous les 28,80 m.

Le bétonnage de ces plots se fait à la suite des opérations de dragage côté bassin, après stabilisation du déplacement des panneaux de paroi moulée.

#### TRAVAUX CÔTÉ TERRE-PLEIN

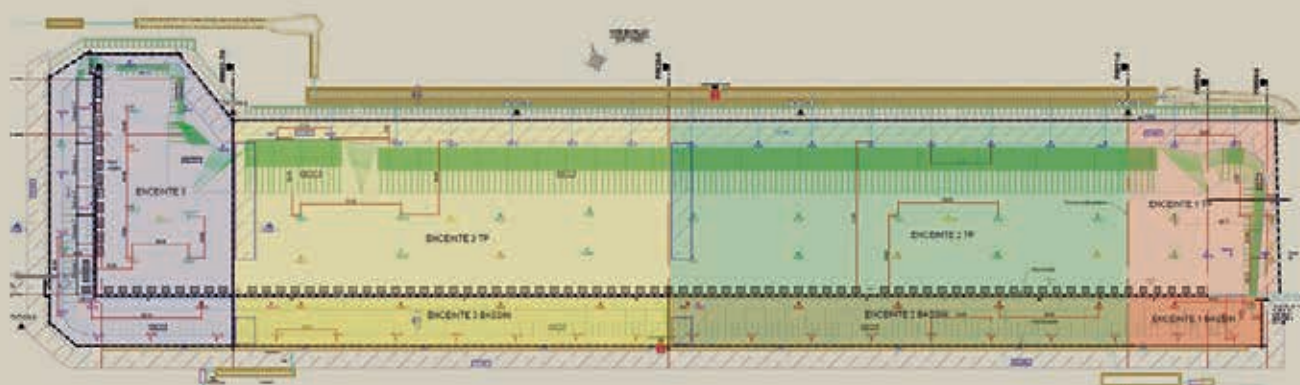
Les terrassements à l'arrière du quai se font à l'abri du rabattement, entre +9,20 CMH et -9,00 CMH sur le linéaire de quai réalisé en base, et entre +9,20 CMH et -5,50 CMH sur le linéaire de variante (figure 8).

Le fonçage du rideau de palplanches parallèlement au quai permet de réaliser un écran d'ancrage arrière des deux lits de tirants maintenant le quai. Chaque tirant possède une tête rotulée qui vient s'insérer dans l'organe d'ancrage prévu dans la paroi moulée. À son autre extrémité, un écrou rotulé est disposé en arrière des palplanches.

#### TRAVAUX CÔTÉ BASSIN (figure 7)

Une fois la paroi moulée réalisée, il est procédé au rabattement de nappe et aux terrassements à l'avant du quai sur une hauteur de 10 m afin de réaliser le masque en béton armé à partir de la cote +1,10 CMH permettant de couvrir les 8 m de marnage et qui accueille les défenses d'accostage et les échelles. La poutre de couronnement, qui reçoit

### MISE EN ÉVIDENCE DES DIFFÉRENTES ENCEINTES DE RABATTEMENT DE NAPPE





Le remblaiement par compactage jusqu'à la cote d'exploitation du quai autour de +10,20 CMH se fait par réemploi de matériaux sableux ou sablo-graveleux du site. Les puits de pompage peuvent être arrêtés côté terre-plein à la fin du remblaiement. Les travaux de génie civil relatifs à la fondation de la voie arrière sont alors engagés sur le principe d'une semelle superficielle enterrée de 1 m de haut pour 5 m de large, avec un léger élargissement à 6 m dans les zones d'ancrage et de rochage des futurs portiques. La fourniture et la pose des rails seront réalisées par le futur exploitant.

### MISE EN EAU ET DRAGAGES

À ce stade les travaux de réalisation du quai sont quasiment terminés. On peut alors déposer la digue d'enclosure du quai pour le mettre en eau, puis procéder aux dragages à l'avant du quai jusqu'à la cote d'exploitation à -17,20 CMH.

L'ultime étape consiste à claver la poutre de couronnement et à équiper les boîtes d'ancrage et de brochage des portiques. La tolérance de pose est de quelques millimètres en altimétrie et en planimétrie. Il est donc nécessaire de réaliser la pose une fois que sont consommés les déplacements du quai liés aux dragages.

#### 10- Puits de pompage.

#### 11- Exemple de données inclinométriques consultables sur la plateforme Geoscope.

#### 10- Pumping shaft.

#### 11- Example of inclinometer data consultable on the Geoscope platform.

### PRÉCISIONS SUR LE DISPOSITIF DE MISE HORS D'EAU

La capacité de l'entreprise à rabattre efficacement la nappe joue un rôle vital pour le bon déroulement du chantier, en amont des opérations de terrassement :

- Côté bassin pour la réalisation du masque d'accostage ;
- Côté terre-plein pour la pose du rideau arrière et des tirants.

Les objectifs minimaux de rabattement sont de -1,00 CMH, soit environ 7 m côté bassin pour la réalisation du masque d'accostage et -9.00 CMH, soit environ 17 m côté terre-plein sur la majeure partie du linéaire pour la mise en œuvre du rideau arrière de palplanches et du lit inférieur de tirants. Pour pouvoir commencer les terrassements sans nécessairement avoir un rabattement uniforme sur tout le linéaire du projet, la zone est divisée en 2 enceintes distinctes de chaque côté de la paroi moulée du quai principal,

auxquelles vient s'ajouter une enceinte supplémentaire au niveau du retour de quai où la paroi n'est pas ancrée dans les argiles de Villerville (figure 9).

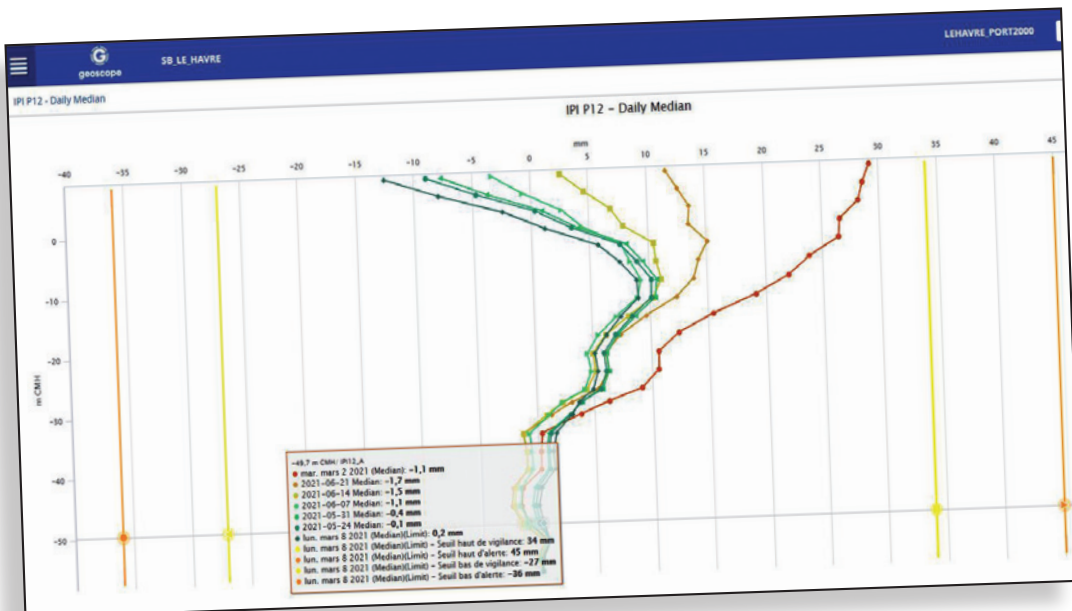
Le dispositif de pompage est constitué de puits de 400 mm de diamètre, avec un gravier filtre 0,8/1,2 mm de 100 mm d'épaisseur annulaire et un taux d'ouverture de crépine supérieur à 10% (figure 10). Ces puits, équipés de pompes de capacité 20 m<sup>3</sup>/h, sont implantés le long de l'enceinte périphérique en paroi coulis avec un espacement moyen de 30 m. Côté terre-plein, ils sont descendus dans les sables gris verts inférieurs à -21,00 CMH ; côté bassin, ils sont forés jusqu'à la cote -16,00 CMH, sauf au niveau du retour de quai où, la paroi moulée n'étant pas ancrée dans le substratum argileux et la nappe côté bassin étant en relation avec le terre-plein, ils atteignent également la cote de -21.00 CMH.

Pendant les opérations de rabattement, les niveaux d'eau sont contrôlés par le biais d'un réseau de piézomètres, certains crépinés toute hauteur, d'autres sélectifs dans les sables gris-verts supérieurs et inférieurs, ce qui permet de connaître le niveau de rabattement dans chacune des 3 nappes du projet.

### CALCULS AUX ÉLÉMENTS FINIS ET AUSCULTATION

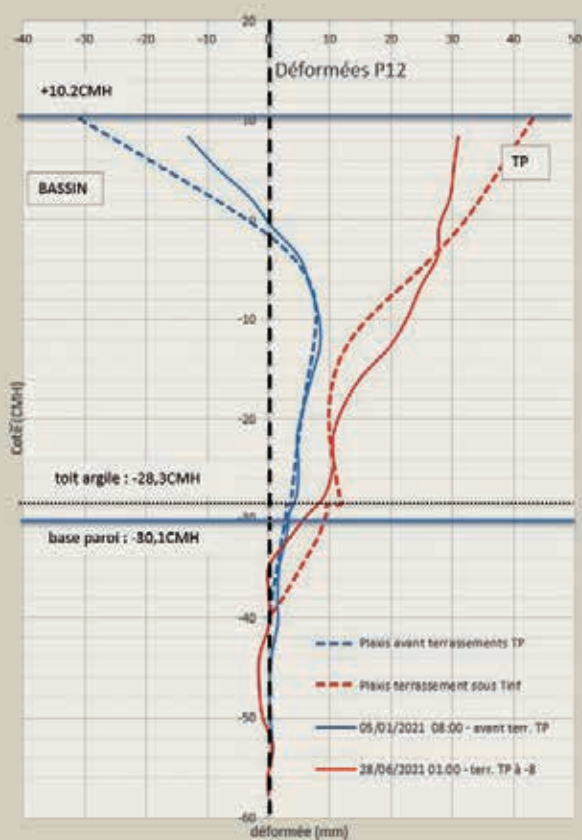
Une instrumentation permettant un suivi de l'ouvrage est demandée par le maître d'ouvrage en phase travaux. Afin de pouvoir continuer l'observation du comportement de l'ouvrage, les moyens de contrôle et de suivi matériel et logiciel devront lui être remis à la fin du chantier. Les mesures des déformations de la paroi moulée, de tension dans les tirants et de niveau d'eau sont donc fournies mensuellement à Haropa Port/Le Havre sous forme de rapports météorologiques.

Le long du quai principal, 7 panneaux sont équipés de chaînes inclinométriques numériques de 65 m de long (dont 25 m d'ancrage sous la base de paroi) qui comprennent chacune 23 capteurs permettant ainsi d'avoir un point de mesure tous les 2 ou 3 m. Les données sont envoyées à un serveur d'acquisition et sont consultables sur la plateforme Geoscope développée par Sixense (figure 11). Ce dispositif est complété par un ensemble de points topographiques disposés régulièrement en tête de paroi moulée et relevés par le géomètre du chantier à intervalles rapprochés pendant les phases critiques du chantier (rabattement de nappe, terrassements, dragages).



11 © SOLETANCHE BACHY

## COMPARAISON DES DONNÉES INCLINO- MÉTRIQUES ET DES RÉSULTATS DES CALCULS AUX ÉLÉMENTS FINIS



12

© SOLETANCHE BACHY

Sur ces 7 profils inclinométriques, 4 sont équipés de cales dynamométriques (un total de 4 par profil aux extrémités de chacun des deux tirants) permettant de mesurer l'effort de traction dans les tirants. La cellule

de charge est placée entre l'écrou et la plaque de répartition du tirant dans la paroi moulée. La déformation de la cellule est mesurée par des cordes vibrantes et permet d'obtenir la traction dans le tirant.

Des calculs aux éléments finis sont réalisés sur 2 coupes du quai principal (une pour chacun des deux postes). Pendant les études d'exécution, ces modèles ont également été utilisés

pour affiner la vérification de la stabilité d'ensemble du quai en simulant une réduction des propriétés de résistance des sols.

Pendant les travaux, on confronte les déformations de la paroi obtenues avec des chaînes inclinométriques aux déformées calculées avec le logiciel Plaxis, à partir desquelles on a défini les seuils de vigilance et d'alerte (figure 12).

À la fin des travaux et en vue de la mise en service du quai, il s'agira de fournir à Haropa Port/Le Havre des modèles aux éléments finis calés le plus fidèlement possible sur le comportement réel de la paroi, tel que décrit par l'instrumentation pendant les phases travaux. □

**12- Comparaison des données inclinométriques et des résultats des calculs aux éléments finis.**

**12- Comparison of inclinometer data and the results of finite-element calculations.**

## PRINCIPALES QUANTITÉS

- Forages pyrotechniques : 12 000 m
- Paroi coulis : 61 000 m<sup>2</sup>
- Paroi moulée : 37 000 m<sup>2</sup>
- Puits de pompages pour assécher la fouille de 700 000 m<sup>3</sup> pour la pose des tirants
- 2 500 000 m<sup>3</sup> de mouvements de terres liés au quai et au terre-plein
- 1 100 t de palplanches et 1 100 tirants passifs de 37 à 50 m
- 45 défenses d'accostage
- 40 000 m<sup>2</sup> de tapis anti-affouillement en géotextile coffrant injectés de mortier de ciment

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Haropa Port / Le Havre

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Haropa Port / Le Havre - Direction de la maîtrise d'œuvre et de l'ingénierie

**ASSISTANT MAÎTRISE D'ŒUVRE :** Setec Terrasol

**ENTREPRISES :** groupement Soletanche Bachy France (mandataire), Atlantique Dragage, Bouygues Travaux Publics Régions France

## ABSTRACT

### LE HAVRE PORT 2000 - PHASE 3 - CONTINUATION AND COMPLETION OF A LONG-TERM PROJECT

ETIENNE RAIMBAULT, SOLETANCHE BACHY FRANCE - PIERRE GALLIARD DE LAVERNEE, SOLETANCHE BACHY FRANCE - STÉPHANE GALY, SOLETANCHE BACHY FRANCE - CHRISTOPHE DUBERN, HAROPA PORT - PHILIPPE JOIGNANT, HAROPA PORT

Since January 2020, Soletanche Bachy France, leader of a consortium with Atlantique Dragage and Bouygues TP RF for civil works, has been working for Haropa Port Le Havre on the construction of Port 2000 berths 11 & 12 following on from the 3500 metres of the first ten berths executed by Soletanche Bachy during the first two phases in the 2000s. The contract covers the design and construction of berths for container ships, each 350 metres long, of draught 17 m, and a 111-metre side quay, dredging, protection against undercutting, two 350-tonne mooring posts and the development of 47 ha of open storage area. A monitoring system is provided to monitor movements of the structure in the works and operating phases. □

### LE HAVRE PORT 2000 - FASE 3 - CONTINUACIÓN Y FINAL DE UN PROYECTO A LARGO PLAZO

ETIENNE RAIMBAULT, SOLETANCHE BACHY FRANCE - PIERRE GALLIARD DE LAVERNEE, SOLETANCHE BACHY FRANCE - STÉPHANE GALY, SOLETANCHE BACHY FRANCE - CHRISTOPHE DUBERN, HAROPA PORT - PHILIPPE JOIGNANT, HAROPA PORT

Desde enero de 2020, Soletanche Bachy France, en representación de un consorcio de ingeniería civil que comparte con Atlantique Dragage y Bouygues TP RF, realiza para Haropa Port Le Havre la construcción de los puestos 11 y 12 de Port 2000, en la prolongación de los 3.500 m de los diez primeros puestos de atraque realizados por Soletanche Bachy durante las dos primeras fases, en los años 2000. El contrato incluye el diseño-realización de los muelles de atraque para portacontenedores, de 350 m cada uno, con un calado de 17 m, así como un muelle de retorno de 111 m, los dragados, la protección anti-erosión, dos duques de Alba de amarre de 350 t y la habilitación de 47 ha de terraplenes. Se emplea un dispositivo de auscultación para hacer un seguimiento de los desplazamientos de la obra en las fases de obra y de explotación. □



© DEVISUBOX

# ÎLE D'OLÉRON : LE PORT DE LA COTINIÈRE S'OFFRE UN COUP DE JEUNE !

AUTEURS : FRÉDÉRIC AURY, DIRECTEUR TECHNIQUE, VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL -  
ERWAN CANONNE, INGÉNIEUR, TRAVAUX VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL

**SAVOIR-FAIRE INTÉGRÉS. DANS LE CADRE D'UN PPP, VINCI TRANSFORME LE PORT DE PÊCHE DE LA COTINIÈRE, PÔLE D'ACTIVITÉ ÉCONOMIQUE ET TOURISTIQUE DE L'ÎLE D'OLÉRON. UN CHANTIER CONJUGUANT TRAVAUX DE TERRASSEMENT ET DE GÉNIE CIVIL EN MILIEU MARIN ET CONSTRUCTION D'UN BÂTIMENT À VOCATION INDUSTRIELLE OUVERT AU PUBLIC. MENÉ SIMULTANÉMENT PAR LES ARCHITECTES, URBANISTES, PAYSAGISTES ET PAR LES ÉQUIPES D'INGÉNIEURS EN GÉNIE MARITIME ET PORTUAIRE, CE PROJET D'AMÉNAGEMENT PORTUAIRE À HAUT NIVEAU D'EXIGENCES À LA FOIS TECHNIQUES, FONCTIONNELLES ET ENVIRONNEMENTALES PERMETTRA, À MOYEN ET LONG TERME, DE DÉVELOPPER L'INTERFACE ENTRE LA VILLE ET LE PORT.**

## INTRODUCTION

En plus de ses célèbres parcs à huîtres de Marennes Oléron, la plus grande des îles de la côte charentaise aura bientôt une nouvelle ressource industrielle et touristique : le port de pêche rénové de la Cotinière, sur la commune de Saint-Pierre-d'Oléron, face à l'océan (figure 2). Le Conseil départemental

**1- Vue d'ensemble du projet.**

**1- Overall view of the project.**

de Charente-Maritime a décidé de donner un nouveau statut à ce port de pêche, le premier de la région Nouvelle-Aquitaine, en le dotant d'une criée en capacité de traiter 6000 t de poisson par an, confortant ainsi le volume actuel de 5500 t produit dans une halle à marée qui avait été dimensionnée pour 2000 t, et en l'ouvrant au public pour

accroître l'attractivité touristique de l'île. Pour réaliser ce projet, qui devrait être mis en service en mars 2022, un appel d'offres a été lancé en 2013 pour la conception, la construction, le financement et le gros entretien et renouvellement (GER) du nouveau site, dans le cadre d'un partenariat public-privé (PPP) d'une durée de 20 ans. ▷

**2- Vue générale  
du chantier.**

**3- Port préexis-  
tant avec ses  
deux bassins  
d'échouage.**

**4- Vue d'artiste  
du projet final  
d'aménagement.**

**2- General view  
of the site.**

**3- Pre-existing  
port with its two  
grounding docks.**

**4- Artist's view  
of the final deve-  
lopment plan.**

En 2016, le PPP était signé avec un groupement composé de Gtm Bâtiment Aquitaine (Vinci Construction France), mandataire, Vinci Construction Terrassement, Vinci Construction Maritime et Fluvial, ainsi qu'un groupement de maîtrise d'œuvre constitué d'Artelia, mandataire, et de l'agence d'architecture Bpg + Associés, auxquels se sont joints pour l'équipement du bâtiment deux entreprises de Vinci Énergies, Cegelec et Thomas Froid.

Ce projet qui accroît la surface du port de 30 % se distingue par sa complexité technique et le grand nombre de métiers mobilisés, depuis les travaux d'infrastructure avec du terrassement et du génie civil en milieu marin, jusqu'aux travaux de superstructure avec la construction d'un bâtiment à vocation industrielle qui est également capable d'accueillir du public grâce à sa promenade intégrée (figures 3 et 4).

### DES TRAVAUX D'INFRASTRUC- TURE AU RYTHME DES MARÉES

À compter de la signature du PPP, deux années ont été nécessaires à la réalisation des études techniques et à l'obtention des nombreuses autorisations administratives liées à tout projet d'aménagement concernant l'estran, cette portion du littoral qui se situe entre les plus hautes et les plus basses marées (figure 5). Un modèle physique du projet a notamment été réalisé à l'échelle 1/35<sup>e</sup> par le bureau d'études Artelia Eau et Environnement, dans ses hangars d'Échirolles, afin de valider les hypothèses de conception et la capacité des ouvrages à résister aux mouvements de marées et aux événements météorologiques exceptionnels. Prévus sur une durée de trois ans, les travaux ont démarré fin 2018 par l'intervention de Vinci Construction



2

© DEVISUBOX



Existant

3



Projet réalisé

4

FIGURES 3 & 4 © PHOTO AERIENNE-FRANCE.FR / PATRICE BLOT - SIMULATION © GUILMAU ARCHITECTURE

## LOCALISATION DES DIFFÉRENTS AMÉNAGEMENTS DU PORT DE PÊCHE DE LA COTINIÈRE



© DR 5

Terrassement, avec le rehaussement et le prolongement de la digue Ouest puis le déroctage d'une surface de 4,3 ha pour créer un nouveau bassin (le troisième) à la cote -2,5 CM avec des fosses à -3,5 CM et comprenant 2 pontons de 135 m et 1 ponton de 80 m de long, qui accueilleront la centaine de bateaux de pêche rattachés au port. Face à l'interdiction de recourir au minage, Vinci Construction Terrassement a procédé par fracturation et extraction mécanique du matériau, à l'aide de pelleteuses équipées d'outils d'attaque au sol - brises-rochers hydrauliques, godets à rocher. Ainsi, 250 000 m<sup>3</sup> ont été terrassés, sous 1 à 5 m d'eau de mer, en tenant compte des horaires des marées (figure 6). Ces matériaux ont servi à créer la plateforme sur laquelle est construite la nouvelle criée, qui est elle-même construite sur un nouveau terre-plein de 4 ha, protégé par les digues Sud et Est. Le volet terrassement du projet comprend aussi la prolongation sur une longueur de 400 m de la digue de protection côté océan, et la création d'une digue d'enclosure de 120 m côté criée, avec toutes deux un phare à leur extrémité.

L'ambition du projet était aussi de transformer le port d'échouage existant, praticable uniquement à marée haute, en un port "tout temps", accessible pour les pêcheurs en permanence. Pour y parvenir, Vinci Construction Maritime et Fluvial, filiale de Vinci Construc-

### 5- Localisation des différents aménagements du port de pêche de La Cotinière.

### 5- Location of the various development works at La Cotinière fishing port.

tion France, a creusé un nouveau chenal de 600 m de longueur et 25 m de largeur, qui assure à l'entrée du port un tirant d'eau de 3 m au minimum, même en cas de coefficient de marée exceptionnel. Ce chenal a été terrassé à l'aide d'un ponton *dipper dredger* : une barge de 40 m équipée d'une pelle de terrassement de 110 t. Les 30 000 m<sup>3</sup> de déblais ont été évacués en mer sur un chaland à clapet de 600 m<sup>3</sup> : un bateau équipé d'une grande cuve de 600 m<sup>3</sup>, ayant la capacité de s'ouvrir en deux afin de déposer les matériaux sur le fond, dans une zone définie par arrêté préfectoral et contrôlée par GPS.

### LE QUAI DE DÉBARQUEMENT

En matière de génie civil, la pièce maîtresse du projet est le quai de débarquement des bateaux de pêche, un ouvrage qui court sur 260 m de longueur et de 11 m de hauteur, composé de près de 500 éléments en béton préfabriqués assemblés. La proximité

du substratum rocheux et sa hauteur libre somme toute limitée (inférieure à 11 m) font que le choix de la structure s'est porté naturellement vers un ouvrage de type poids, en béton armé préfabriqué avec alvéoles remplies de remblais (figure 7). Dans une eau particulièrement turbide, les plongeurs de Vinci Construction Maritime et Fluvial sont entrés en scène pour assurer la mise à niveau et la propreté du fond, ainsi que le bon positionnement des cadres métalliques qui servent à couler les fondations du quai sous l'eau, avec du béton à base de ciment "prise mer". Une opération importante car les éléments en béton doivent être empilés avec des joints de 10 mm d'épaisseur, en respectant une tolérance de plus ou moins 3 mm sur les 11 m de hauteur du quai. Les travaux d'infrastructure ont été complétés par le battage de 18 pieux au centre du nouveau bassin, pour accueillir les trois pontons flottants en aluminium et de catways guidés par des pieux de diamètre 1 000 mm, épaisseur 18 mm. Les 18 pieux guides sont fichés de 3 m, dans le sol calcaire, pré-terrassé à la cote du fond du bassin soit -5,70 NGF (figure 8).

L'option d'une plate-forme de forage ayant été écartée, le choix pour ficher les pieux s'est orienté vers le trépanage, le vibrofonçage et/ou le battage : il s'agit d'une méthode visant à fracturer et éjecter le matériau à l'exté-

rieur du pieu à ficher. Dès lors que les passes de 50 cm de trépanage sont effectuées, un vibrofonçeur de 6,5 t est placé en tête du pieu. Les vibrations créées par ce dernier et transmises au pieu par le biais de ses mors, permettent de descendre le pieu progressivement en cassant le "trottoir", nom de la banquette formée entre la base du pieu et le trou dans le rocher produit par le passage du trépan. Dans certaines zones géographiques, pour lesquelles le calcaire était trop dur, un marteau hydraulique de 14,5 t a été utilisé.

L'atelier de battage était constitué d'une grue treillis sur chenilles, de capacité 110 t, équipée sur un ponton de 30 m x 15 m. Le ponton était quant à lui maintenu en position par le biais de 6 lignes d'ancres et pouvait se déplacer grâce à ses treuils hydrauliques. Les mouvements de plus grande ampleur étaient réalisés par un bateau de service équipé d'un petit bras de grue : un *multicat* qui avait aussi la tâche de déplacer les ancres. Le ponton était équipé sur l'avant d'un guide de battage sur deux niveaux ayant pour vocation de maintenir le pieu dans son axe lors du trépanage, et également de 8 rouleaux (4 par niveau), afin d'éviter tout mouvement lors du battage.

Le processus de construction du quai est le suivant :

→ Une souille réalisée avec des engins de terrassement jusqu'à la côte basse du quai ;



6

© DEVISUBOX

→ Des portiques en acier positionnés à la grue dans la souille. Des pieds de réglages permettent un ajustement de la position de ces cadres en acier. Les réglages sont réalisés par des plongeurs, en communication avec les topographes ;

→ Sur ces portiques sont installés les blocs préfabriqués, qui joueront le rôle de coffrage perdu. Ceux-ci sont remplis de béton de caractéristiques C34/45 XS3, jusqu'à créer une assise plane ;

→ Sur cette assise sont installés et imbriqués des blocs préfabriqués, sur 4 niveaux. Ces blocs préfabriqués ont la particularité d'être creux et sont remplis d'un matériau de remblai une fois installés ;

→ Ce matériau de remblai permet un gradient hydraulique entre le terre-plein à l'arrière du quai et le bassin dont le niveau d'eau est soumis à la marée. Des barbacanes dans les blocs préfabriqués permettent l'écoulement d'eau ;

→ Les blocs préfabriqués sont liaisonnés en tête par une poutre de couronnement. Cette poutre est elle-même constituée de blocs préfabriqués en "U", dans lequel sont installés des cages de ferrillages. La poutre est ensuite coulée à l'avancement.

Le quai est équipé de grues de déchargement, régulièrement espacées. Leurs fondations sont coulées dans la poutre de couronnement afin de mobiliser la structure complète de l'ouvrage et pour récupérer les efforts lors des mouvements de grue.

#### AUTRES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL

Concernant les autres ouvrages de génie civil, une dalle piétonne de couronnement de 600 m avec une rampe PMR en tête de la digue Est a été construite afin de relier le parking d'entrée au musoir où se trouve le feu d'entrée du port. Une prise d'eau de mer

#### 6- Travaux de terrassement.

#### 7- Construction du quai.

#### 6- Earthworks.

#### 7- Construction of the quay.

située à l'extérieur du port a également été créée, et se remplit d'eau à marée haute. Ce réservoir qui communique avec un puits situé dans le bâtiment de la criée, permet une alimentation en eau de mer non polluée, afin de remplir les viviers (figure 1).

Aussi, un retour de quai de 50 m a été créé pour permettre aux pêcheurs



7

© VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL





8

© DEVISUBOX

de s'amarrer au droit d'un bâtiment de production de glace. Des fondations profondes étaient nécessaires à la construction de ce haut bâtiment d'acier afin de résister aux efforts du vent. Des micropieux verticaux et inclinés de longueur 11 m ont été forés dans le calcaire, assurant la stabilité de l'ouvrage. Une dalle de fondation permet de reprendre la structure de la tour sur les micropieux. Enfin, concernant les aménagements urbains, un parking a été créé en lieu et place de l'ancienne criée.

#### CONCLUSION

En 2021, c'est donc un tout nouveau panorama qui s'offre aux résidents et aux touristes de la Cotinière. L'ensemble des travaux maritimes est achevé, l'objectif étant d'avoir un port entièrement fonctionnel pour 2022.

#### 8- Pieux guide ponton.

#### 8- Pontoon guide piles.

Les principaux enjeux du projet sont en passe d'être parfaitement atteints : accessibilité et amélioration de la sécurité pour les navires et la SNSM, soutien de l'activité pêche et de la place portuaire locale, mise aux normes sanitaires, énergétique et ergonomique de la criée et réaménagement du bourg de La Cotinière qui en découle naturellement.

Grâce à son expertise des solutions de contrats de Partenariat Public-Privé et à la synergie des entreprises de construction du groupe, Vinci a mené ce projet exemplaire à terme. □

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### MAÎTRE D'OUVRAGE :

Conseil départemental de Charente-Maritime

#### ENTREPRISE GÉNÉRALE :

Groupement Gtm Bâtiment Aquitaine (mandataire),  
Vinci Construction Maritime et Fluvial et  
Vinci Construction Terrassement

EXPLOITANT DU PORT : Commune de Saint-Pierre d'Oléron

### CHIFFRES CLÉS

**MONTANT TOTAL DE L'OPÉRATION : 51 M€**  
(hors Gros Entretien Renouvellement)

**PART DU SOUS-GROUPEMENT INFRASTRUCTURES : 32 M€**

**PART DU SOUS-GROUPEMENT SUPERSTRUCTURES : 19 M€**

#### ABSTRACT

### ILE D'OLÉRON: LA COTINIÈRE PORT UNDERGOES RENOVATION

FRÉDÉRIC AURY, VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL -  
ERWAN CANONNE, TRAVAUX VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL

The Charente-Maritime Department is carrying out a project for modernisation of the La Cotinière fishing port on Île d'Oléron, in order to optimise the municipality's economic activity in an environmentally friendly manner. On the agenda is the execution of a new 4-hectare open storage area east of the port, a new fish auction area increased from 4,500 to 11,000 m<sup>2</sup> that can receive up to 70 vessels, and a third dock and its 600-metre-long access channel (25 m wide and 2.50 m deep). In a public-private partnership, three entities of Vinci Group are involved in this €54 million project: Vinci Construction Maritime et Fluvial and Vinci Construction Terrassement for infrastructure, and Gtm Bâtiment Aquitaine for superstructure. This project began at end-2018 and will be delivered at end-2021. □

### ISLA DE OLÉRON: ¡EL PUERTO DE LA COTINIÈRE SE DA UN BAÑO DE JUVENTUD!

FRÉDÉRIC AURY, VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL -  
ERWAN CANONNE, TRAVAUX VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL

El departamento de Charente-Maritime lidera el proyecto de modernización del puerto pesquero de la Cotinière, en la isla de Oléron, con objeto de optimizar la actividad económica del municipio respetando el entorno. En el programa: realización de un nuevo terraplén de 4 hectáreas al este del puerto, una nueva lonja de 11.000 m<sup>2</sup> (anteriormente de 4.500 m<sup>2</sup>) que permitirá acoger hasta 70 barcos, así como un tercer estanco y su canal de acceso de 600 m de longitud (25 m de ancho y 2,50 m de calado). En el marco de una asociación público-privada, tres entidades del grupo Vinci participan en esta obra valorada en 54 millones de euros: Vinci Construction Maritime et Fluvial y Vinci Construction Terrassement para las infraestructuras, y Gtm Bâtiment Aquitaine para las superestructuras. El proyecto comenzó a finales de 2018 y se entregará al término de 2021. □



1  
© BOUYGUES TP

# RÉNOVATION ET ALLONGEMENT DES ÉCLUSES DE MÉRICOURT (78)

AUTEURS : JEANNE LAFIN, CHEF DE GROUPE ÉTUDES, BOUYGUES TP - GRÉGOIRE DE MALHERBE, RESPONSABLE PROJET, BOUYGUES TP

LES ÉCLUSES DE MÉRICOURT SONT SITUÉES SUR LA SEINE, À UNE SOIXANTAINES DE KILOMÈTRES DE PARIS. LES TRAVAUX RÉALISÉS SUR LES DEUX ÉCLUSES EN SERVICE ONT POUR OBJECTIFS DE RÉTABLIR LE GABARIT TRANSVERSAL DES SAS, RÉTRÉCI APRÈS DES DÉSORDRES SURVENUS SUR LES OUVRAGES ET D'ALLONGER L'ÉCLUSE 1 À L'AVAL DE 160 m ACTUEL À 185 m POUR PERMETTRE LE PASSAGE DES CONVOIS DE 180 m. CETTE RÉNOVATION INCLUT AUSSI LES ÉQUIPEMENTS D'AMARRAGE, LES PORTES ET ORGANES DE VANTELLERIE, LES AUTOMATISMES, L'ÉCLAIRAGE, LA SIGNALISATION FLUVIALE ET LA CONSTRUCTION D'UN NOUVEAU BÂTIMENT DE COMMANDE.

La moitié du trafic circulant sur le bassin de la Seine franchit les écluses de Méricourt, cela représente 250 bateaux chaque semaine et 9 millions de tonnes de marchandises par an. Celles-ci fonctionnent 24/24 et 360 jours par an.

Quatre ans de travaux sont nécessaires sans interrompre la navigation sur la Seine. L'obligation de maintenir en permanence une des deux écluses en exploitation constitue une contrainte conséquente sur le phasage des travaux, les méthodes de construction et la stabilité des ouvrages existants pendant l'exécution des travaux.

## LES GRANDES PHASES DE TRAVAUX

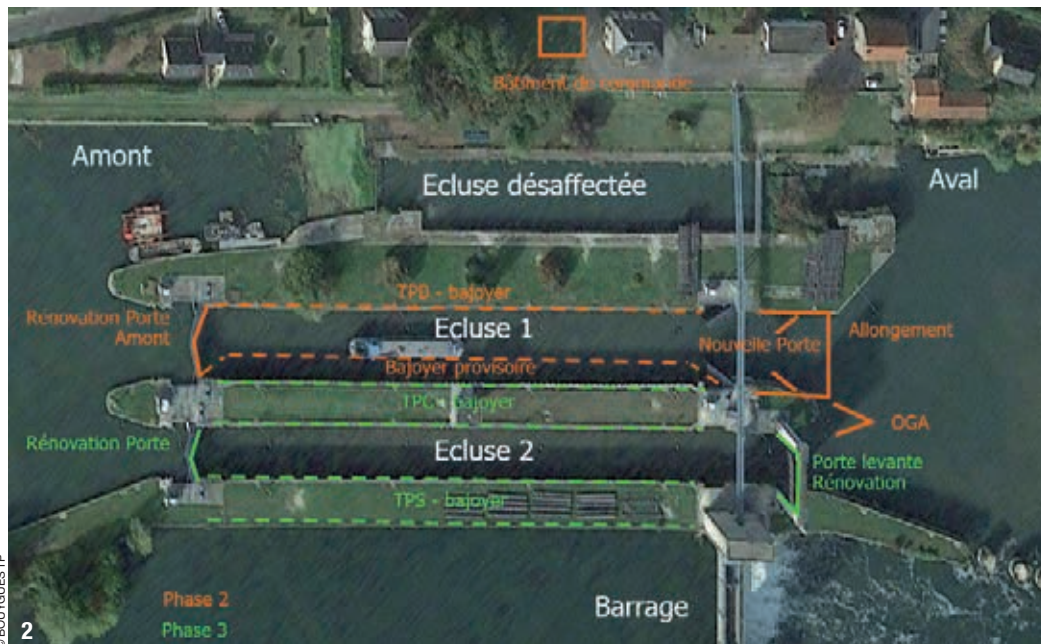
Pour la rénovation des trois terre-pleins des écluses de Méricourt, le terre-plein côté berge (TPB), le terre-plein central (TPC) et le terre-plein côté Seine (TPS), les travaux ont dû être phasés en fonction des périodes de chômage de l'une ou l'autre des deux écluses (figure 2). La première phase, d'une durée de 3 mois dont un mois de chômage écluse 2, a consisté à fiabiliser la porte levante de la seule écluse de 12 m x 185 m permettant le passage des convois de 180 m, à mettre en œuvre un rideau mixte dans le musoir

1- Vue d'ensemble pendant la phase 2.

1- General view during phase 2.

aval du TPC et à anticiper la réalisation partielle de l'ouvrage de guidage aval (OGA) situé dans le prolongement du TPC en effectuant le battage des trois pieux à proximité de la porte levante de l'écluse 2. Pendant cette courte phase, l'écluse 1 de 17 m x 160 m était maintenue en service.

La phase 2 en-cours de réalisation comprend la rénovation de la porte busquée amont de l'écluse 1, la rénovation du bajoyer TPB, l'allongement aval de l'écluse 1 avec une nouvelle porte busquée, la finalisation de l'ouvrage de guidage aval, la réalisation d'un ouvrage provisoire de protection du terre-plein central à l'intérieur de l'écluse 1, la réalisation du nouveau bâtiment de commande et le basculement des systèmes de contrôle commande des écluses et du barrage. Durant cette phase, c'est alors l'écluse 1 qui est chômée et l'écluse 2 en service.



© BOUYGUES TP  
2

La phase 3 démarrera après la mise en remise en service de l'écluse 1 allongée avec un gabarit réduit de 13 m au lieu de 17 m en raison de la présence de l'ouvrage provisoire. Ce bajoyer provisoire permet à la fois d'assurer la continuité d'exploitation de l'écluse 1 et le batardage du TPC pour réaliser les travaux de rénovation des deux terre-pleins TPC et TPS, alors sous le niveau d'eau de sâssée haute de l'écluse 1. Cette phase de chômage de l'écluse 2 permettra également la rénovation de la porte busquée amont et de la porte levante à l'aval de cette écluse. Enfin, pour la dernière phase de ce chantier, l'écluse 2 sera remise en ser-

**2- Vue aérienne du phasage des travaux.**  
**3- Ouvrage de guidage aval.**

**2- Aerial view of work sequencing.**  
**3- Downstream guide structure.**

vice et l'écluse 1 à nouveau chômée afin de déposer l'ouvrage provisoire pour rétablir le gabarit du sas 1 et finir la rénovation du bajoyer TPC rive gauche.

**L'OUVRAGE DE GUIDAGE AVAL**

L'allongement de l'écluse 1 implique la réalisation d'un nouveau musoir sur le TPC dont le rôle est de guider les bateaux remontant la Seine lors de leurs manœuvres d'approche et ainsi protéger la tête d'écluse TPC aval. Finalisé pendant la phase 2, cet ouvrage de forme triangulaire dans le plan, est constitué de 5 pieux métalliques de diamètre 1 220 mm ancrés dans la craie à -2,00 m NGF et bétonnés en tête. Ces pieux sont équipés de 5 niveaux de lisses HEM 300 entre +12,40 m NGF et +17,50 m NGF. Une dalle en béton de 40 cm faisant office de diaphragme entre les pieux est intercalée au niveau

médian à +14,95 m NGF (figure 3). L'ouvrage étant destiné à dissiper l'énergie des chocs de bateau, le principe retenu est de le rendre le plus souple possible dans la limite des déplacements autorisés. De ce fait, la conception de l'ouvrage repose sur l'articulation de la dalle sur son pourtour et aux liaisons avec les tubes. Les efforts horizontaux de chocs au niveau de la dalle génèrent donc uniquement des efforts de compression quel que soit le point d'impact.

**RÉNOVATION DU TPB PHASAGE ET DESCRIPTION DU NOUVEAU BAJOYER**

Afin de rétablir le gabarit d'origine de l'écluse 1, il est nécessaire de positionner le nouveau bajoyer à l'intérieur du terre-plein, en retrait du rideau de palplanches existant. Le nouveau bajoyer est dimensionné pour reprendre un effort de choc de 150 t (figure 1).

Contrairement au bajoyer existant, le nouveau bajoyer n'est pas relié à un contre-rideau, il est constitué d'un rideau tirant au moyen de tirants forés passifs inclinés à 45° et scellés dans la craie.

Préalablement au battage des nouvelles palplanches, les tirants reliant le rideau côté sas au bajoyer maçonné, tenant lieu de contre-rideau, ont été découpés. Afin de garantir la stabilité du rideau existant lors de ces découpes, vingt-et-un butons ont été mis en place à l'intérieur du sas par des plongeurs, à la cote +9,00 m NGF, pour stabiliser le rideau TPB en appui contre le rideau TPC côté écluse 1 (figure 4).



© BOUYGUES TP  
3



4  
© BOUYGUES TP



5  
© BOUYGUES TP

Une fois ces butons posés, le terre-plein TPB a été terrassé jusqu'à +12,70 m NGF pour permettre de découper le lit de tirants inférieurs. Le rideau existant a ensuite été recépié à +13,70 m NGF et le nouveau rideau battu à l'arrière de l'ancien rideau. Les nouvelles palplanches, 144 paires de type PU32+1, ont été battues à l'aide d'un marteau avec une énergie de 90 kJ. Elles sont ancrées de 3 m dans la craie, le toit de la craie étant variable sur le linéaire du bajoyer, leur longueur varie entre 15 et 19 m.

Les tirants d'ancrage ont été forés au niveau +15,00 m NGF depuis un ponton situé dans le sas 1. Les tirants sont des barres de 50 mm de diamètre, nuance d'acier 670 MPa, espacés tous les 1,2 m et d'une longueur totale

moyenne 21 m, ils sont ancrés de 6 m dans la craie saine.

Une lierne de reprise des efforts d'ancrage, formée de 2 HEB 300, a été mise en place au-dessus des ancrages à +15,60 m NGF (figure 5).

L'étape suivante a été la dépose des butons dans le sas afin de décompresser le terrain entre l'ancien et le nouveau rideau pour pouvoir curer ces matériaux et recéper les anciennes palplanches à l'arase du radier de l'écluse. Le TPB est ensuite remblayé jusqu'à 1 m du niveau fini, à +17,55 m NGF, pour exécuter la poutre de couronnement.

Afin d'éliminer le risque de coincement des bateaux à l'intérieur du nouveau sas, des lisses de guidage seront soudées contre le rideau de palplanches.

**4- Pose des butons dans le sas 1.**

**5- Lierne du terre-plein côté berge.**

**6- Vue 3D des bollards encastrés.**

**7- Pose d'un cuirassement.**

**4- Placing struts in lock chamber 1.**

**5- Lierne rib of the open storage area on the bank side.**

**6- 3D view of embedded bollards.**

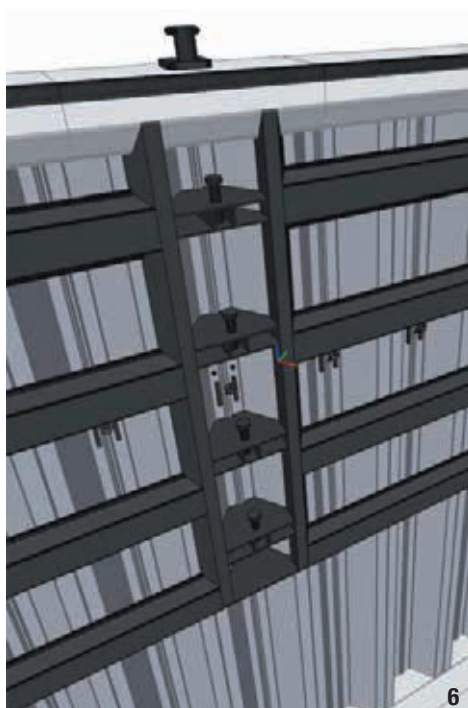
**7- Placing armouring.**

Les lisses sont formées par des panneaux de largeur variable, composés de 4 profilés horizontaux en palplanches PU32 et de profilés verticaux en palplanches GU8N espacés longitudinalement tous les 3 m. Au total, pour équiper le linéaire du nouveau rideau, 26 demi-panneaux sont nécessaires, le plus lourd pèse 3,2 t. Les demi-panneaux sont alignés de bollard à bollard, calés puis soudés contre le bajoyer.

#### LES ÉQUIPEMENTS D'AMARRAGE

La rénovation du bajoyer inclut aussi l'installation de nouveaux équipements de navigation et dispositifs nécessaires à la sécurité des usagers de ces écluses à grand gabarit.

Le bajoyer sera équipé de 16 bollards fixes espacés tous les 12 m, ancrés dans la poutre de couronnement et capables de reprendre un effort d'amarrage de 30 t. Ces bollards sont alignés verticalement sur des bollards encastrés dans les creux de palplanche sur 4 niveaux proposant ainsi aux bateaux un point d'amarrage quel que soit le niveau d'eau dans le sas (figure 6). Enfin, 5 bollards flottants seront installés le long du nouveau bajoyer. Contrairement aux bollards encastrés, les bollards flottants offrent davantage de confort d'utilisation aux usagers car ils permettent, pendant une sassée, un amarrage permanent suivant la variation du niveau d'eau sans avoir à décrocher les amarres. Pour l'écluse de Méricourt, la conception retenue pour ces bollards consiste en un caisson de flottaison muni de patins en PEHD. Ce flotteur d'acier coulisse dans des rainures verticales d'un cuirassement de 10 mm d'épaisseur intégré dans un redan du rideau de palplanches, en léger retrait par rapport à l'axe du



6  
© BRLI



7  
© BOUYGUES TP

**8- Fonctionnement hydraulique des écluses et du barrage.**

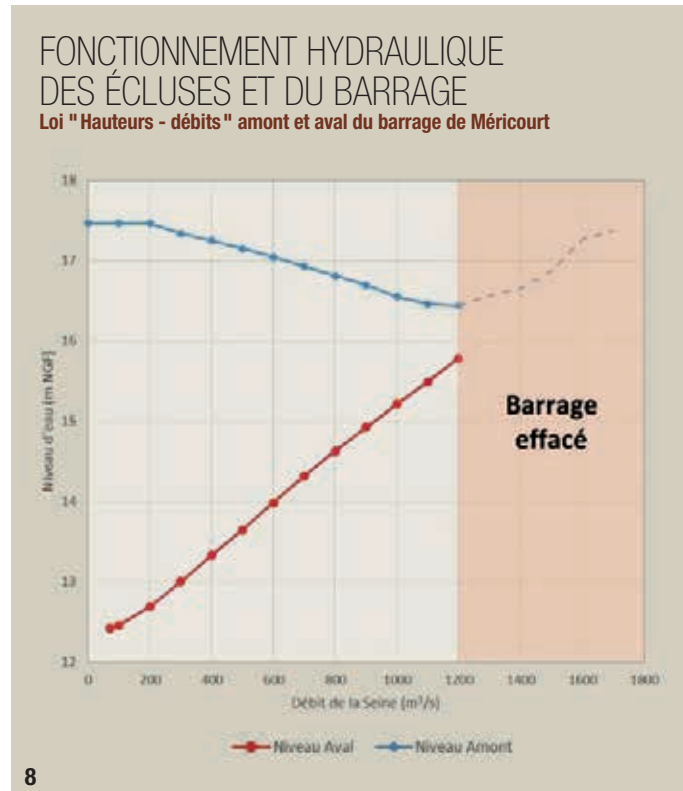
**9- Le chantier pendant la crue en début d'année 2021.**

**8- Hydraulic operation of the locks and dam.**  
**9- The construction site during flooding at the start of 2021.**

bajoyer. L'intérieur de ce cuirassement est constitué de profilés métalliques verticaux ancrés dans le radier et la poutre de couronnement pour la reprise des efforts d'amarrage de 30 t et la poussée du béton de remplissage (figure 7).

### FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ET ALÉA CRUE

La maîtrise du niveau d'eau dans l'écluse constitue un enjeu majeur pour ces travaux de rénovation : à titre d'exemple, la pose des butons provisoires nécessite de maintenir un niveau haut (+17,50 m NGF) dans l'écluse alors qu'un niveau bas est requis pour



© BRLI

réaliser les soudures des chaises des tirants à +15,00 m NGF.

Le fonctionnement hydraulique de l'écluse est fonction de la gestion hydraulique du barrage adjacent aux

deux écluses. Les niveaux amont et aval des écluses évoluent selon le débit de la Seine (figure 8).

Pour permettre la navigation dans le bief amont, une régulation à niveau

entre +17,50 m NGF et 16,50 m NGF est assurée à l'amont, tandis qu'à l'aval, le niveau d'eau fluctue selon le débit de la Seine, entre l'étiage à +12,35 m NGF et +16,50 m NGF. Une sassée dans l'écluse fait donc varier le niveau d'eau dans le sas entre minimum +12,35 m NGF et +17,50 m NGF. En cas de crue, pour un débit supérieur à 1200 m³/s, le niveau aval monte et le barrage est effacé dès que celui-ci atteint +16,50 m NGF et au-delà.

En début d'année 2021, le chantier a été confronté à une crue décennale à +17,57 m NGF. Les travaux ont été arrêtés le temps que la décrue soit suffisante pour permettre, notamment, la reprise des travaux des tirants d'ancrage à +15,00 m NGF (figure 9).

### ALLONGEMENT DE L'ÉCLUSE 1

Toujours dans le cadre de la phase 2, le projet prévoit d'allonger l'écluse 1 en créant une nouvelle tête à l'aval, pour la porter à 185 m de long. Les travaux initialement envisagés consistaient à mettre en œuvre un batardeau provisoire formé par trois rideaux mixtes auto-stables (dans le prolongement du TPB, à l'aval pour fermer l'écluse, et dans l'axe du musoir existant du TPC) pour pouvoir réaliser à sec le génie civil de la nouvelle tête. ▶



Au démarrage des travaux de battage côté TPB, un obstacle massif enterré en béton et des pieux bois ont été inopinément rencontrés, illustrant là un des enjeux de la rénovation d'ouvrages existants et des inconnues qui peuvent survenir.

Cette découverte a nécessité l'exécution d'investigations dans le sous-sol du TPB puis une modification de la conception du batardage dans le TPB. Les problématiques rencontrées ont été nombreuses :

- L'exiguïté de la zone rendant difficiles les accès par voie terrestre pour les engins ;
- La position du batardeau, situé entre le rideau de palplanches existant et un ancien bajoyer maçonné : la décaler n'aurait pas levé le risque de rencontrer à nouveau un obstacle et l'augmentation de la portée aurait empêché le levage par des moyens nautiques. L'emplacement initial a donc été conservé mais il a fallu traiter les problématiques de stabilité vis-à-vis des ouvrages existants ;
- La gestion des venues d'eau et la maîtrise de l'étanchéité au niveau des raccords du batardeau aux ouvrages existants ;
- Assurer la stabilité du bajoyer existant pendant l'exécution des travaux. La solution finalement retenue consiste à réaliser une paroi de pieux en béton armé quasi-jointifs sur TPB, selon le phasage suivant :

- 1- Terrassement à +13,00 m NGF entre le rideau existant et le bajoyer maçonné ;
- 2- Liernage du bajoyer existant et découpe des tirants à l'emplacement des pieux primaires ;
- 3- Pose de viroles métalliques de diamètre 914 mm de 3 m de haut ;
- 4- Mise en place de tirants provisoires à +14,00 m NGF entre les viroles et le rideau existant ;
- 5- Réalisation de 3 files de 10 micropieux surmontés d'une dalle béton armé de 40 cm sur toute la largeur du TPB, pour supporter le poids de la foreuse. La dalle joue aussi le rôle de tirant passif connecté en tête des viroles et ancré à l'arrière du bajoyer de l'ancienne écluse (figure 10) ;
- 6- Remblai entre le bajoyer maçonné et le rideau existant autour des viroles ;
- 7- Réalisation des pieux primaires en béton armé (figure 11) ;
- 8- Connection des pieux primaires et de la dalle tirantée ;
- 9- Découpe des tirants existants à l'intérieur des viroles des pieux secondaires ;



- 10- Réalisation des pieux secondaires ;
- 11- Injections à l'arrière des pieux quasi-jointifs pour assurer l'étanchéité.

Le batardage de la tête aval terminé, les travaux d'allongement de l'écluse se poursuivent avec :

- 12- Fractionnement sous eau par plongeur d'un radier inopinément rencontré à l'aval de l'écluse, puis démolition et terrassement sous l'eau jusqu'à la cote +4,50 NGF à l'intérieur du sas ;

**10- Allongement : micropieux et dalle de circulation.**

**11- Allongement : forage des pieux jointifs.**

**10- Lengthening: micropiles and traffic slab.**

**11- Lengthening: close-jointed pile drilling.**

- 13- Réalisation dans le sas des micropieux d'ancrage du futur radier et de reprise des sous-pression d'eau en phase provisoire, à partir d'un atelier nautique ;
- 14- Coulage d'un bouchon béton immergé sur 1,5 m d'épaisseur ;
- 15- Terrassement de la zone entre paroi et le rideau existant et découpe des tirants provisoires ;
- 16- Batardage à l'amont de l'allongement à l'aide de poutres métalliques ;
- 17- Vidange du sas ;
- 18- Ferrailage et bétonnage du radier et des bajoyers de la nouvelle tête aval ;
- 19- Démantèlement de l'ancienne porte busquée aval et pose d'une nouvelle porte busquée dans la tête allongée.

Côté TPC, une vigilance particulière est portée sur la stabilité du massif existant sur lequel repose la porte levante de l'écluse. En effet, cette porte étant en service, il faut garantir l'absence de déplacement de la structure pour ne pas créer un désordre de nature à interrompre le fonctionnement de la porte et la continuité de la navigation. Ce massif existant est conservé et constitue une partie du batardeau provisoire. Au fur et à mesure du terrassement du musoir côté sas 1, deux niveaux de liernes et bracons ont été posés.

Le génie civil du bajoyer TPC de la nouvelle tête aval prévoit la construction d'un aqueduc provisoire pour relier l'aqueduc de la tête aval existante amont à l'aval de la zone batardée, les débits de fuite à travers l'ouvrage provisoire seront alors évacués à l'aval.

## L'OUVRAGE PROVISOIRE

Lors de la phase 3, cet ouvrage assure un rôle de batardeau pour permettre l'exécution des travaux dans l'écluse 2 alors que des sassées ont lieu dans l'écluse 1. Il s'agit donc d'un ouvrage sensible pour la sécurité du projet, il a un rôle structurel pour reprendre les efforts de poussée du TPC, de poussée de l'eau lors des sassées dans l'écluse 1 et des chocs de bateaux (figure 12). Ce bajoyer est composé de 46 pieux HEM 700 dont 43 sont ancrés dans le radier existant. Des carottages en diamètre 1200 mm ont été réalisés sur l'épaisseur du radier (1,35 m) pour pouvoir ficher ces pieux à la cote +2,5 m NGF. L'espacement théorique entre les pieux est de 3,75 m, compte tenu des tolérances de construction, une adaptation de leur calepinage



© BOUYGUES TP

12

d'après le relevé bathymétrique des carottages réels a été réalisée. Les désalignements de la structure sont ensuite résolus par des calages entre les HEM et les lisses de guidage. Entre les pieux, des palplanches GU8N sont mises en œuvre jusqu'au radier.

**12- Bajoyer provisoire en cours de réalisation.**

**12- Temporary lock wall under construction.**

Une dalle béton de 50 cm est coulée sur le radier entre le bajoyer provisoire et le rideau existant pour assurer l'étanchéité. Un remblai est mis en place sur cette dalle jusqu'à +13,00 m NGF. Ces éléments de lestage contribuent à résister aux sous-pressions d'eau. L'interaction entre le bajoyer provisoire et le TPC est réalisée par l'intermédiaire de butons de diamètre 250 mm disposés à +13,00 m NGF. Ces butons sont dimensionnés pour pouvoir reprendre

les efforts de choc de bateau sur l'ouvrage provisoire mais aussi les efforts transmis par le TPC lors de la dépose des tirants existants en phase 3. Le bajoyer est équipé de 4 niveaux de lisses de guidage formées par des profilés HEA 280. Les extrémités amont et aval de l'ouvrage sont des structures triangulées, indépendantes de la zone courante et dimensionnées pour l'éventuel choc de bateau lors de l'entrée dans l'écluse. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**MONTANT DU PROJET : 92 M€**

**PALPLANCHES : 3000 t**

**TIRANTS FORÉS TPB : 2800 m**

**BÉTON DES POUTRES DE COURONNEMENT ET REMPLISSAGE DES CUIRASSEMENTS : 1 100 m<sup>3</sup>**

**LISSES DE GUIDAGE : 250 t**

**OUVRAGE PROVISOIRE DE PROTECTION TPC : 500 t**

**MICROPIEUX DU RADIER DE LA NOUVELLE TÊTE AVAL : 78 u et 800 m**

**BÉTON DE LA NOUVELLE TÊTE AVAL (béton immergé, radier et bajoyers) : 2 180 m<sup>3</sup>**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Voies Navigables de France**

**ASSISTANT TECHNIQUE MAÎTRISE D'OUVRAGE : Isl Ingénierie**

**MAÎTRISE D'ŒUVRE INTÉGRÉE : Brl Ingénierie**

**ARCHITECTE : Strates Ouvrages d'Art**

**GROUPEMENT CONSTRUCTEUR : Bouygues TP (Mandataire), Bouygues TP Régions France**

## ABSTRACT

### RENOVATION AND LENGTHENING OF THE MÉRICOURT LOCKS (78)

JEANNE LAFIN, CHEF DE GROUPE ÉTUDES, BOUYGUES TP -  
GRÉGOIRE DE MALHERBE, RESPONSABLE PROJET, BOUYGUES TP

The renovation and lengthening of the Méricourt locks is a complex project in several respects. Works on existing structures whose integrity has been damaged involve many unknowns that could lead to a revision of the design and construction methods. The requirement of continuity of navigation on the Seine necessitates work sequencing with alternating changes in lock idleness and the construction of temporary structures to absorb boat impacts. By nature, the locks are subjected to hydraulic stresses and changing levels of the Seine, thus requiring numerous structure sizing configurations. Also, flood risk represents a major challenge having a statistically high probability. This must be considered during design engineering and could affect the work schedule. □

### RENOVACIÓN Y PROLONGACIÓN DE LAS ESCLUSAS DE MÉRICOURT (78)

JEANNE LAFIN, CHEF DE GROUPE ÉTUDES, BOUYGUES TP -  
GRÉGOIRE DE MALHERBE, RESPONSABLE PROJET, BOUYGUES TP

La renovación y la prolongación de las esclusas de Méricourt es un proyecto complejo en varios aspectos. Las obras en construcciones existentes cuya integridad se verá comprometida plantean numerosas incógnitas que pueden obligar a revisar el diseño y los métodos de construcción. La exigencia de continuidad de la navegación en el Sena impone una organización por fases de las obras, alternando cierres de esclusas y la realización de obras provisionales que asuman el impacto de los barcos. Por su naturaleza, las esclusas están sujetas a presiones hidráulicas y a la evolución de los niveles del Sena, lo que multiplica las configuraciones de dimensionamiento de las obras. Por otra parte, el riesgo de crecida constituye un considerable desafío, estadísticamente muy probable, que debe tenerse en cuenta en los estudios y que puede afectar a la planificación de las obras. □



1

© EIFFAGE

# GRAND TORTUE AHMEYIM - PLEIN GAZ SUR LA MAURITANIE ET LE SÉNÉGAL

AUTEUR : ANTOINE BIDAULT, DIRECTEUR PROJET, EIFFAGE GÉNIE CIVIL MARINE

LE DÉVELOPPEMENT DU RÉSERVOIR DE GAZ OFFSHORE GRAND TORTUE AHMEYIM (GTA) SITUÉ SUR LA FRONTIÈRE MARITIME MAURITANO-SÉNÉGALAISE, NÉCESSITE LA CONSTRUCTION D'UN PORT EN MER OUVERTE À 10 km DES CÔTES POUR ABRITER LE NAVIRE DE STOCKAGE ET LIQUÉFACTION (FLNG) ET LES NAVIRES D'EXPORTATION. CETTE INFRASTRUCTURE, D'UN LINÉAIRE TOTAL D'ENVIRON 1 150 m, EST COMPOSÉE DE 21 CAISSONS DE 16 000 t CHACUN QUI REPOSENT SUR UNE DIGUE SOUS-MARINE DE 2,5 MILLIONS DE TONNES DE MATÉRIAUX DE CARRIÈRE. LE SCHÉMA OPÉRATIONNEL RETENU PAR LE CLIENT BP ET SES PARTENAIRES MAXIMISE LE CONTENU LOCAL EN PRODUISANT LES CAISSONS AU SÉNÉGAL ET LES MATÉRIAUX DE LA DIGUE SOUS-MARINE EN MAURITANIE.

## CONCEPT

Le développement du réservoir GTA par BP (opérateur) et ses partenaires (Kosmos, Petrosen et Smhpm) nécessite la réalisation d'un port en mer ouverte à 10 km des côtes, sur la frontière maritime mauritano-sénégalaise, au large de Saint-Louis. Ce *hub* est constitué d'un mur brise-lames de 1 150 m (figure 1) composé de 21 caissons de 16 000 t chacun qui reposent sur une digue sous-marine, et d'appontements qui permettront l'amarrage, d'un côté, d'un navire de liquéfaction et stockage (FLNG) et, de l'autre, des navires du

type méthaniers qui seront chargés en GNL pour exportation.

Le mur brise-lames, dimensionné pour des houles significatives (Hs) de 6,1 m, soit une période de retour de 10 000 ans, doit garantir une agitation minimale des navires côté port afin d'assurer la sécurité des opérations de transfert du gaz d'un navire à l'autre. Il est composé d'une digue sous-marine en matériaux de carrière qui repose sur les fonds marins compris entre -30 et -35 m et qui permet de réaliser l'assise des 21 caissons. Les caissons de forme décalobée mesurent

1- Vue numérique du port en mer ouverte.

1- Digital view of the open-sea port.

54,5 m x 28 m x 31,5 m pour un poids de 16 000 t et reposent sur la digue à -21 m.

Le dimensionnement de la digue, réalisé intégralement par Eiffage Génie Civil Marine, a fait l'objet d'essais

hydrauliques 3D en bassin (figure 2) afin de valider la tenue de la digue sous-marine, les critères de franchissement de la houle par-dessus les caissons et l'agitation résiduelle du plan d'eau derrière les caissons et aux postes d'amarrage. Ces essais ont également permis de définir les pressions hydrauliques sur les caissons (mur chasse-mer en tête du caisson, dalle de fermeture (toit) et voiles) afin d'optimiser leur dimensionnement.

Pour réaliser cet ouvrage, trois sites distincts sont en activité conjointement, avec pour stratégie de maximiser le



2- Essais 3D en bassin.

3- Vue de la fosse de la carrière Hajar Denkhen.

4- Trommels en production du tout-venant (1-500 kg).

2- 3D tests in dock.

3- View of the Hajar Denkhen quarry pit.

4- Trommels producing crusher-run material (1-500 kg).



contenu local du schéma de construction. La Mauritanie pour la production, le transport et le chargement des matériaux nécessaires pour la digue sous-marine. Dakar pour la réalisation et la mise à l'eau des caissons. Et le site offshore, le *hub*, situé sur la frontière entre les deux pays pour installer l'ensemble.

## LA DIGUE SOUS-MARINE EN MAURITANIE

### SITE DE PRODUCTION

La réalisation de la digue sous-marine nécessite l'installation de près de 2,5 millions de tonnes de matériaux rocheux qui répondent à des critères techniques exigeants : densité, indice Los Angeles, résistance à la compres-

sion. Le premier défi a été de trouver le site idéal pour ouvrir une carrière capable de produire les trois coupures de matériaux (tout-venant 1-500 kg, ballast 40-80 mm et enrochement 0,5-1,5 t) constituant la digue. Une intense campagne de reconnaissance de sol, avec des sondages carottés et analyses sismiques, réalisée sur plusieurs sites

potentiels, a permis d'identifier celui d'Hajar Denkhen, à proximité de la ville d'Akjoujt, dans la province de l'Inchirri, à 275 km du port de Nouakchott.

### EXPLOITATION DE LA CARRIÈRE

Pour démarrer la production, le site devait être viabilisé. Pour ce faire, les premiers mois ont été consacrés aux travaux d'installation et de découverte de la fosse. Une base vie d'une capacité de 200 personnes, intégrant bureaux, infirmerie, poudrière et atelier a été érigée au milieu du désert mauritanien. Le matériel nécessaire à la découverte et à l'exploitation de cette carrière a été importé en Mauritanie et acheminé sur le site. Au total plus de 80 machines et équipements, parmi lesquels pelles de 80 t, chargeuses, bull, camions et trommels, ont été mobilisés.

Pendant la réalisation des installations, les travaux de découverte de la fosse ont commencé. Les premiers mètres ont été décapés par des pelles mécaniques, avant minage jusqu'à trouver la roche saine, roche de nature basaltique avec des filons d'amphibolites.

La roche saine a été extraite par minage, à raison de 2 à 3 tirs hebdomadaires, en utilisant du nitrate de fuel préparé sur site. Le matériau abattu a été trié pour extraire les blocs supérieurs à 0,5 t, puis transporté hors de la fosse par des camions 8x4 (figure 3) vers les deux unités de tri qui permettaient de séparer la partie inférieure à 1 kg et ainsi produire le matériau, appelé tout-venant en 1-500 kg, destiné au corps de la digue. Ces unités, des trommels mobiles (figure 4), produisaient unitairement 350 t/h de tout-venant. Un crible mobile permettait de produire le ballast en 40-80 mm dédié à la couche finale d'assise des caissons. La partie 0-40 mm a été conservée en carrière. Les enrochements ont été produits par triage par des pelles mécaniques de 40 t équipées d'un système de pesage embarqué. Démarrée en pléines restrictions liées à l'apparition de la pandémie de Covid-19, la production de l'intégralité des quantités a été réalisée en 15 mois.

### TRANSPORT DES ENROCHEMENTS

Le second défi était logistique : acheminer les matériaux produits en carrière jusqu'à la zone de stockage tampon de 16 ha près du port de Nouakchott sur une distante de 275 km (figure 5). Avant de démarrer les activités de transport, une piste de contournement de la ville de Nouakchott de 32 km ▷





5

© EIFFAGE

a été réalisée afin de limiter l'impact sur la circulation en ville, et améliorer la sécurité de nos opérations de transport. Le transport a été confié à 5 entreprises mauritaniennes mobilisant conjointement 150 camions assurant les rotations 6 jours sur 7, 24 h sur 24 entre la carrière et le port pour atteindre une moyenne hebdomadaire de 53 000 t pendant 13 mois.

Pour garantir des conditions de sécurités maximales, les camions étaient tous équipés de systèmes embarqués : caméras, contrôle de position et de vitesse. De même, un cycle de rotation des chauffeurs a été mis en place avec l'appui de notre client BP pour limiter le temps de conduite à 4 heures. Enfin des patrouilles HSE circulaient sur le parcours pour vérifier le respect des consignes de sécurité.

### CHARGEMENT DES NAVIRES

Le dernier défi portait sur le chargement des navires au port de Nouakchott pour acheminer les matériaux sur le hub. Dans le cadre d'un partenariat avec le Port Autonome de Nouakchott - Port de l'Amitié (PAN PA), un quai a été dédié à notre activité de chargement, incluant des travaux de dragage pour l'approfondir à -12 m.

Le navire principal d'installation, le *Simon Stevin* (Jan de Nul) long de 190 m, embarquait près de 32 000 t par voyage chargées lors de son escale à quai en 24 heures, et revenait tous les 3,5 jours (figure 6). Les équipes étaient dimensionnées pour approvisionner bord à quai 1 500 t/h depuis la zone de stockage située à 2 km du quai. Le navire se chargeait via ses excavatrices installées spécialement pour le projet.

### LA LIGNE DE FABRICATION DES CAISSONS À DAKAR

#### PRINCIPE

Le principe retenu pour la construction des caissons est de les réaliser intégralement à terre, afin de n'avoir aucun travail de génie civil à effectuer en mer, pour des questions de sécurité, de planning et de coûts. Cette contrainte impacte directement le choix du système de mise à l'eau et donc la localisation de la ligne de préfabrication. Le choix d'une mise à l'eau de ces caissons aux dimensions hors norme (54,5 m x 28 m x 31,5 m - poids : 16 000 t) est basé sur une barge submersible. L'utilisation d'une telle barge pour mettre en flottaison les caissons nécessite une zone abritée avec une profondeur d'eau supérieure à 30 m. La baie de Dakar offre ces deux caractéristiques. Elle retient notre choix d'établir notre ligne de préfabrication

au Port Autonome de Dakar (PAD) et se conclut par un accord de collaboration avec ce dernier.

#### LE SITE

À ce titre, le PAD nous a octroyé une zone adjacente au môle 8 permettant de réaliser notre plateforme de 12 ha gagnés sur la mer et d'y installer notre unité de production de caissons. La plateforme abrite les installations de chantier, la ligne de préfabrication des caissons et un banc de préfabrication et précontrainte, un atelier de ferrailage, les centrales à béton, les 8 grues à tour et un quai en pieux sécants de 250 m de long et d'un tirant d'eau de 8,5 m pour la mise à l'eau des caissons et le support des opérations offshore au hub (figure 7).

Pour construire cette plateforme, les matériaux dragués pour réaliser le chenal d'accès au quai sont mis

en remblai avec une drague à cutter. Pour recevoir les installations, notamment les centrales à béton, les fonds de moules et les longrines de ripage des caissons, une amélioration de sol a été réalisée avec des inclusions rigides.

#### LIGNE DE FABRICATION

La ligne de préfabrication compte 7 stations, chacune correspondant à une étape de la fabrication du caisson, qui s'inscrit dans un cycle complet de 54 jours. Le caisson est déplacé d'une station à l'autre au moyen d'un système de ripage composé de 4 lignes de 22 vérins hydrauliques de 250 t qui permettent de lever le caisson. Le déplacement horizontal est assuré par 22 vérins de 25 t qui permettent une translation de 10 m/h du caisson de 16 000 t. Les lignes de vérins se meuvent sur des longrines béton sur lesquelles les rails de translation métalliques ont été scellés.



6

© EIFFAGE

**5- Vue aérienne de la zone de stockage au port de Nouakchott.**

**6- Chargement des matériaux à bord du navire d'installation au port de Nouakchott.**

**5- Aerial view of the storage area at Nouakchott Port.**

**6- Loading materials on board the installation vessel in Nouakchott Port.**



© EIFFAGE

7

## LE RADIER ET LES VOILES

Les deux premières stations sont identiques et se composent d'un fond de moule permettant d'y réaliser le radier et les voiles verticales.

Le radier, d'une épaisseur de 80 cm, nécessite la mise en place de 300 t de ferrailage et un coulage, en une seule fois, de 1 400 m<sup>3</sup> de béton. Une fois le radier réalisé, le coffrage glissant des voiles est assemblé. Les voiles sont réalisés en utilisant ce coffrage qui permet de les couler sur 27 m sans arrêt de bétonnage. Cette opération, d'une durée de 8 jours, mobilise près

**7- Vue aérienne du yard de fabrication de Dakar.**

**8- Bétonnage des voiles verticales avec le coffrage glissant.**

**7- Aerial view of the Dakar production yard.**

**8- Concreting vertical walls with sliding formwork.**

de 250 collaborateurs par poste sur le coffrage, lesquels mettent en œuvre 950 t d'acier et 3 700 m<sup>3</sup> de béton acheminés par deux mâts de bétonnage, et environ 150 autres à terre pour produire et acheminer les aciers et le béton (figure 8).

À la fin d'un voile, le caisson est transféré en troisième station, le coffrage glissant y est démonté, nettoyé et remis en place sur le caisson suivant. Sur cette station, sont également préparées les arases supérieures des voiles qui vont recevoir les éléments préfabriqués de la dalle de fermeture.

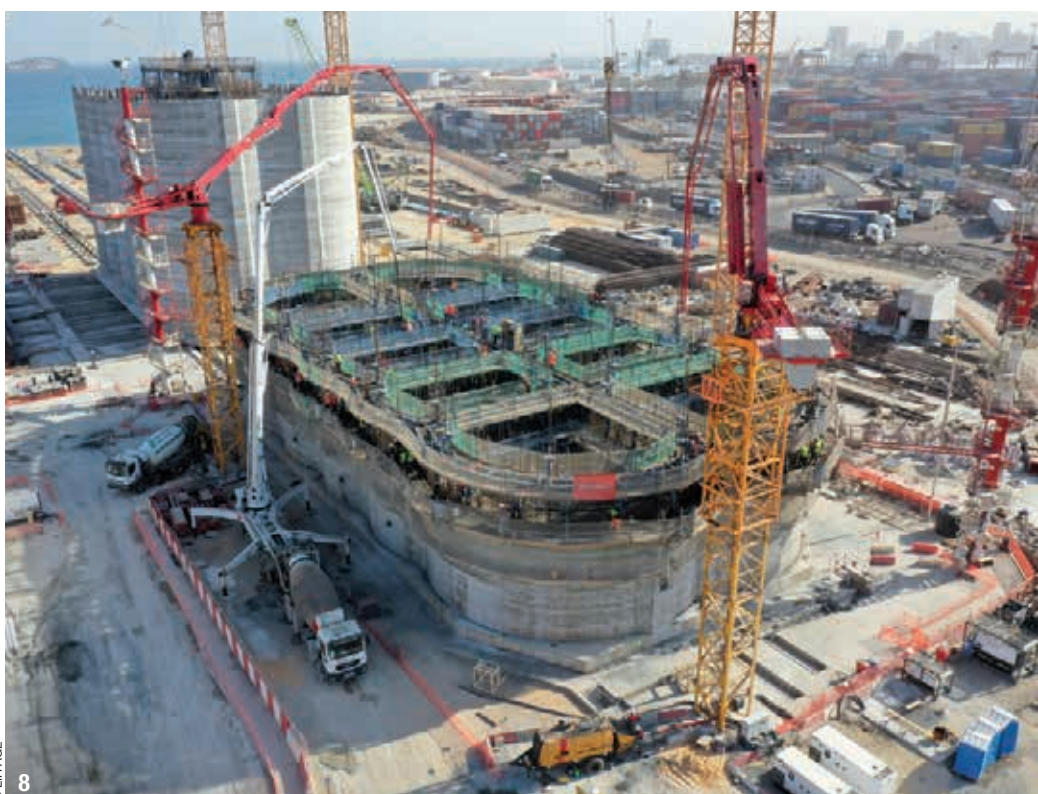
## TOIT

Positionné en quatrième station, le caisson est fermé avec la réalisation de la dalle de fermeture. Cette dernière se compose de 48 prédalles préfabriquées, dont 20 sont précontraintes, et d'une dalle de compression de 30 cm. Les prédalles sont réalisées sur le site ; l'aire de préfabrication inclut deux bancs de précontrainte d'une capacité de 1 000 t. Les éléments, pesant environ 28 t, sont positionnés sur les arases des voiles verticales à l'aide d'une grue à tour. Après la pose des prédalles, la dalle de compression est réalisée avec la pose du lit supérieur de ferrailage et le coulage de 500 m<sup>3</sup> au moyen d'une pompe mobile avec un bras de 56 m (figure 9).

Sur la cinquième station, un voile central "chasse mer", d'une hauteur de 3,60 m et de 60 cm d'épaisseur, est réalisé. Le béton est approvisionné à la pompe de 56 m. Sont ensuite réalisés le mur arrière, d'un mètre de haut, et les refends du mur chasse-mer.

## ARMEMENT DES CAISSONS

Les deux dernières stations sont dédiées aux opérations maritimes afin de finir de préparer le caisson pour sa mise à l'eau et sa pose. Cette préparation démarre dès les premières stations avec la pose des vannes de ballastage en pied de voiles. Les platines de remorquage ou de pose, les grèements ainsi que les systèmes et réseaux d'énergies embarqués (air et électricité) sont installés en sixième station. La dernière station est une station d'attente qui permet de générer de la flexibilité entre la préfabrication et la mise à l'eau, car cette dernière est dépendante des conditions de mer à Dakar.



© EIFFAGE

8

## MISE À L'EAU

Une fois que le caisson équipé et qu'une fenêtre météorologique de déchargement est disponible, il est chargé sur la barge semi-submersible amarrée au quai (figure 10). Le transfert est réalisé avec le même système de ripage que celui utilisé à terre. La barge semi-submersible, longue de 140 m, a été spécialement modifiée pour le projet afin de répondre aux dimensions exceptionnelles des caissons et à la profondeur d'immersion de -30 m requise pour mettre en flottaison ces derniers. À ce titre, des élargissements (*sponsons*) latéraux de la coque ont été ajoutés ainsi que 8 tours de stabilité. Le château a également été rehaussé de 10 m. Tous ces travaux ont été réalisés en Norvège avant la mobilisation de la barge à Dakar.

Lors du chargement du caisson, la barge est ballastée afin d'être posée sur son assise parfaitement réglée en pied de quai. Le caisson chargé, la barge est ensuite remise en flottaison et remorquée par deux remorqueurs de 65 t de capacité vers le site de mise à l'eau situé dans la baie de Dakar (figure 11). Dès que les critères météorologiques sont favorables pour la mise en eau, la barge s'immerge en actionnant son système de ballastage. Le caisson est également partiellement ballasté pendant cette opération pour garantir sa stabilité et son assiette. Un système d'amortisseurs a été conçu pour limiter les impacts entre le caisson et la barge lorsque le caisson rentre en flottaison. Les deux remorqueurs de 65 t le prennent ensuite en charge pour le sortir de la barge et l'amarrer au coffre de mouillage situé à proximité, d'où il partira ensuite pour le *hub*.

## L'INSTALLATION OFFSHORE AU HUB

Le *hub* est le point de convergence des activités de Mauritanie et du Sénégal car situé à équidistance de Nouakchott et de Dakar, soit 125 miles nautiques.

## DIGUE SOUS-MARINE

Avant la réalisation de la digue sous-marine, le fond marin constitué de matériaux existants impropres, car compressibles, a été dragué par une drague aspiratrice.

Le navire principal d'installation du tout-venant 1-500 kg, une fois chargé à Nouakchott rejoint le *hub* en 12 heures. Le matériau est mis en place avec ses pelles hydrauliques latérales. 67 voyages permettront de constituer la digue sous-marine.



9 © EIFFAGE

Le ballast constituant l'assise des caissons est, quant à lui, installé et réglé en utilisant le *fall pipe* du navire. C'est un tuyau central plongeur qui permet de descendre le matériau au fond et d'assurer une tolérance de pose en deçà du décimètre.

Finalement les enrochements de protection des talus de la digue sont positionnés, soit avec une pelle, soit avec la grue d'un autre navire spécialisé.

Tous ces navires de pose sont équipés de systèmes de positionnement et de bathymétrie qui permettent le suivi et

**9- Réalisation de la dalle de fermeture.**

**10- Caisson terminé chargé sur la barge de mise à l'eau.**

**9- Execution of the cover slab.**

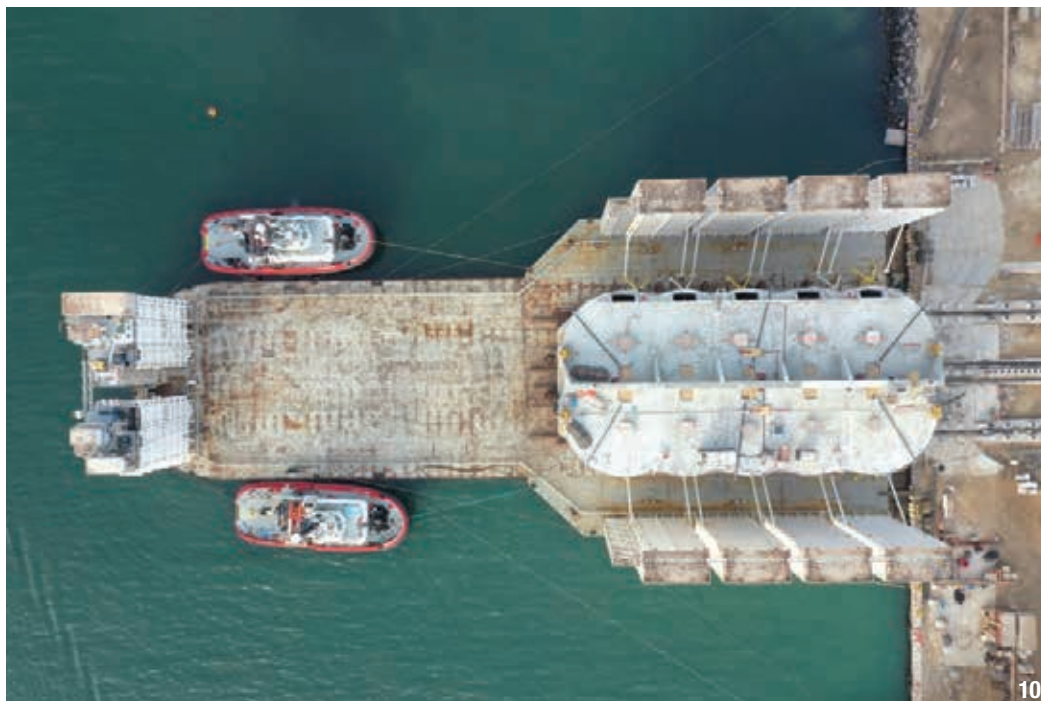
**10- Completed caisson loaded on the launching barge.**

contrôle de l'installation en temps réel (figure 12).

## INSTALLATION DES CAISSONS

Lorsque l'assise est réceptionnée, la pose des caissons peut débuter.

La pose commence par le caisson du central, appelé caisson mère, permettant d'ouvrir deux fronts de pose. Sur ce caisson, sont positionnés 8 treuils hydrauliques de 100 t de capacité qui permettront de positionner les autres caissons. Ce caisson est également le centre de pose qui permet de piloter



10 © EIFFAGE



11

© EIFFAGE

tous les appareils de pose : treuils, vannes, équipements topographiques, pompes de déballastage, caméras, grâce à un réseau WiFi. La centralisation de tous ces éléments permet d'augmenter la sécurité des opérations.

Le caisson est remorqué pendant 48 heures depuis la baie de Dakar jusqu'au *hub* par un convoi constitué d'un remorqueur de 120 t de capacité en tête et d'un remorqueur de 80 t en secours. Il est alors amarré sur un des coffres d'attente situés

**11- Barge prête à partir avec le caisson, avec la ligne de préfabrication en arrière-plan.**

**12- Vue bathymétrique de la digue sous marine.**

**11- Barge ready to leave with the caisson; precasting line in the background.**

**12- Bathymetric view of the under-sea dyke.**

à 2 miles nautique du brise-lames. Dès qu'une fenêtre météorologique est conforme pour la pose, le caisson est pris en charge par les navires de pose (remorqueurs de 65 t, multicat) depuis son coffre d'attente et amené sur la zone de pose où il est alors connecté à ses lignes de pose. Ces dernières sont soit reliées aux treuils du caisson mère, soit aux remorqueurs auxquels sont connectés aux ancrés de pose préalablement installées (figure 13). Ces lignes permettent de contrôler l'approche et le positionnement précis

du caisson pendant sa descente, laquelle est réalisée en ballastant le caisson par activation des vannes. Le caisson finalement est posé dans une tolérance de 50 cm.

#### BALLASTAGE

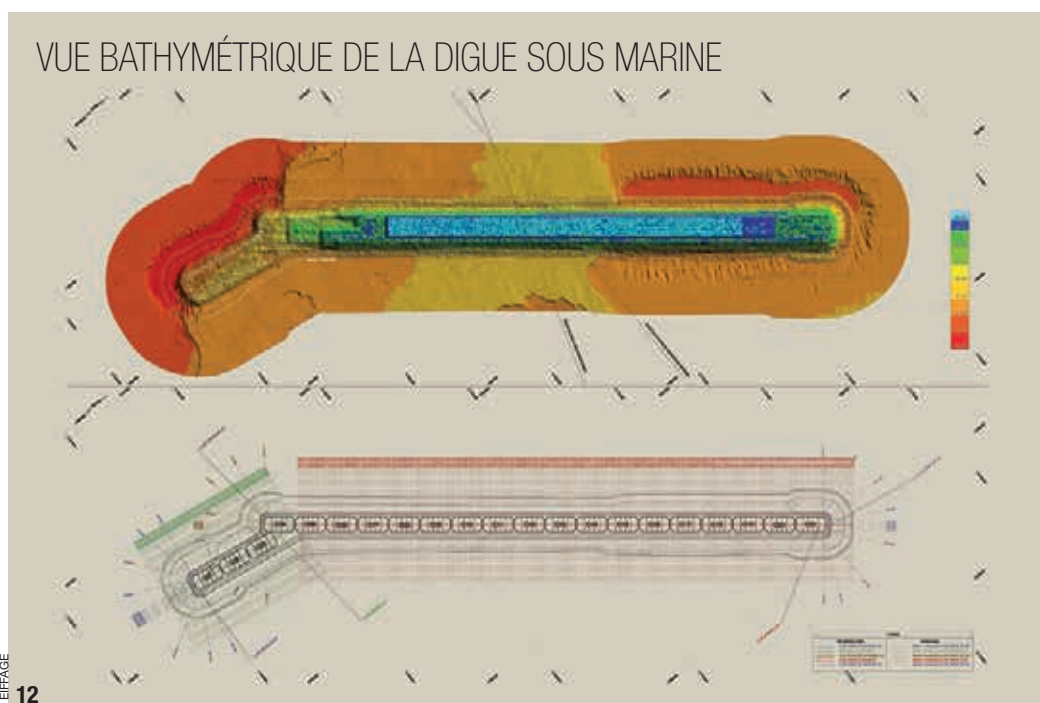
Une fois posé, le caisson est ballasté en sable afin d'assurer sa stabilité à la houle de dimensionnement. Le sable est prélevé à proximité du *hub* par des fonds de 35 m par une drague aspiratrice qui vient ensuite refouler, au moyen d'un équipement développé pour le projet, le sable par des ouvertures prévues à cet effet dans la dalle supérieure. Ces dernières seront ensuite refermées.

#### FLOTTE

Pour réaliser ces opérations en mer, une importante flotte d'une vingtaine de navires est mobilisée, dont six remorqueurs de haute mer, une barge-hôtel d'une capacité de 300 lits hébergeant les équipes, 4 navires d'installation des enrochements, les navires de transport du personnel et de sécurisation de la zone d'opération.

#### CONCLUSION

Le Projet Grand Tortue Ahmeyim (GTA) lancé par BP en 2019 est un projet innovant dans son concept, notamment avec son port en mer ouverte. Sa localisation à la frontière sur deux pays ajoute au challenge. Son exécution en Mauritanie et au Sénégal maximise le contexte local. La pandémie de Covid n'a pas épargné son exécution. ▷



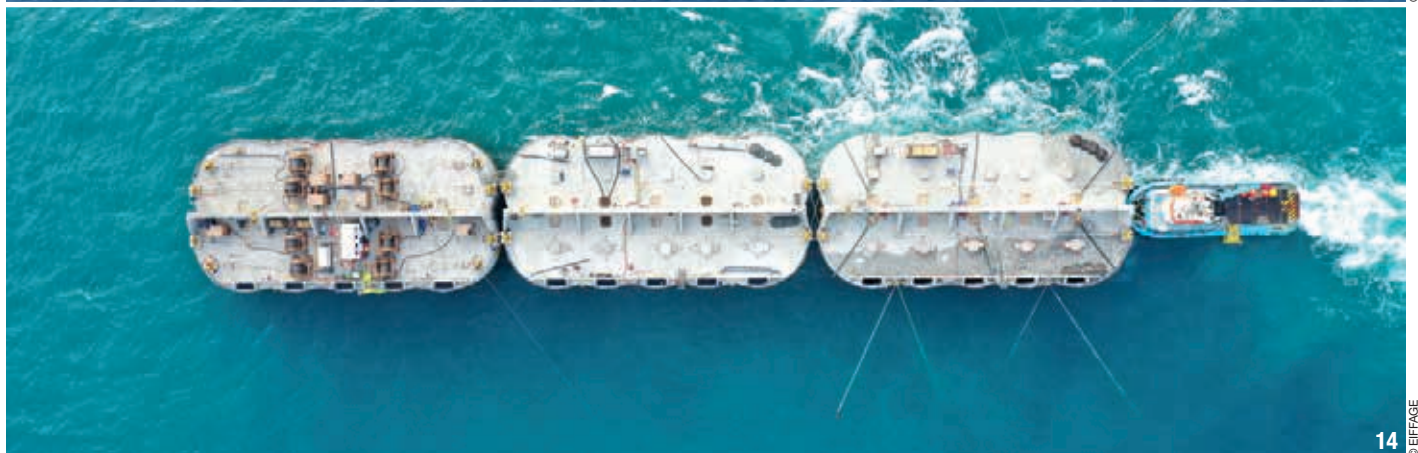
© EIFFAGE

12



13

© EIFFAGE



14

© EIFFAGE

Le troisième caisson a été posé avec succès fin juillet 2021, aboutissement d'une somme de travaux et d'opérations en Mauritanie et au Sénégal (figure 14).

À ce jour, toutes les étapes techniques de ce projet audacieux sont réalisées

positivement et permettent d'appréhender avec justesse la fin des travaux pour Eiffage.

La Mauritanie est en phase de démobilitation, le site de fabrication des caissons à Dakar est en pleine production, le dernier caisson sera terminé

**13- Flotte en opération pour la pose du second caisson.**

**14- Les trois premiers caissons installés.**

**13- Fleet in operation for laying of the second caisson.**

**14- The first three caissons installed.**

fin 2021. L'installation sur le *hub* a débuté et monte en puissance. La fin de l'installation des caissons permettra à Eiffage de transmettre le flambeau à son partenaire Saipem, pour l'installation des structures constituant l'appontement derrière le brise-lames. Eiffage Génie Civil Marine sera partie prenante pour l'installation des planchers reliant les deux navires ; le challenge continue ! □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**CAISSONS : 21 unités**

**DIMENSIONS : 54,5 m x 28 m x 31,5 m - POIDS : 16 000 t**

**BÉTON : 125 000 m<sup>3</sup>**

**ACIER : 25 000 t**

**DIGUE : 1 150 m de long**

**DRAGAGE : 230 000 m<sup>3</sup>**

**CORPS DE DIGUE : 1 150 000 m<sup>3</sup>**

**BALLAST : 65 000 m<sup>3</sup>**

**ENROCHEMENT : 140 000 m<sup>3</sup>**

**SABLE DE BALLASTAGE POUR LES CAISSONS : 660 000 m<sup>3</sup>**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**CLIENT : BP et ses partenaires**

**ENTREPRISE : Eiffage Génie Civil Marine**

**SOUS-TRAITANTS / FOURNISSEURS PRINCIPAUX :**

Jan De Nul / Boa / Peschard / Jifmar / Swire / Eime / Etic / Bygging Uddemann / Gpe Vicat / O2 / Epc / Mce / Bis Tp / Smit / Natlog / Azima / Mcl / Keller / Terratest

## ABSTRACT

### GRAND TORTUE AHMEYIM - LNG PROJECT FOR MAURITANIA AND SENEGAL

ANTOINE BIDAULT, EIFFAGE GÉNIE CIVIL MARINE

**To construct innovative offshore infrastructure** for development of the Greater Tortue Ahmeyim gas field, numerous challenges must be met on the three project sites. In Mauritania, a quarry has been opened to produce around 2.5 million tonnes of materials, which are then transported over a distance of 275 km to be loaded in the installation vessels in Nouakchott Port. At Dakar, a precasting line, built on an area of 12 hectares entirely reclaimed from the sea, is used to build the 21 caissons of unit weight 16,000 tonnes, at seven work stations. The caissons are floated out by a semi-submersible barge which is submerged to depths of more than 30 metres. They are towed 125 nautical miles and then installed on the base formed from the materials produced in Mauritania. A fleet of about twenty vessels, including a hotel barge, is deployed to support these operations carried out 10 km from the coast. □

### - GRAND TORTUE AHMEYIM - A TODO GAS EN MAURITANIA Y SENEGAL

ANTOINE BIDAULT, EIFFAGE GÉNIE CIVIL MARINE

**La realización de una innovadora infraestructura marítima offshore** para el desarrollo del campo gasístico Grand Tortue Ahmeyim plantea numerosos desafíos en los 3 emplazamientos que componen el proyecto. En Mauritania, se ha abierto una cantera para producir cerca de 2,5 millones de toneladas de materiales, que seguidamente se transportan a 275 km de distancia para ser cargados en los buques de instalación, en el puerto de Nouakchott. En Dakar, una línea de prefabricación, construida en una zona de 12 hectáreas ganadas al mar en su totalidad, permite construir los 21 pozos de cimentación de 16.000 t cada uno, gracias a 7 estaciones de trabajo. Los pozos de cimentación se sumergen utilizando un pontón semi-sumergible que desciende a más de 30 m de profundidad. Remolcados a lo largo de 125 millas náuticas, a continuación los pozos de cimentación se instalan sobre los cimientos, formados por los materiales producidos en Mauritania. Se moviliza una flota de una veintena de buques, entre ellos una barcaza hotel, para apoyar estas operaciones, realizadas a 10 km de la costa. □



1  
© VNF

# 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 abattables (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 Vnf 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 assortie 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.

### 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 lié au mode de construction adopté, qui dépend de l'importance du débit de l'Yonne, 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 aléas géo-



2

© GOOGLE

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.**

prévient 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).



3

© INGÉROP





**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 étanche.

En général, la membrane de caoutchouc est composée d'un lé 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 boudruche, 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).

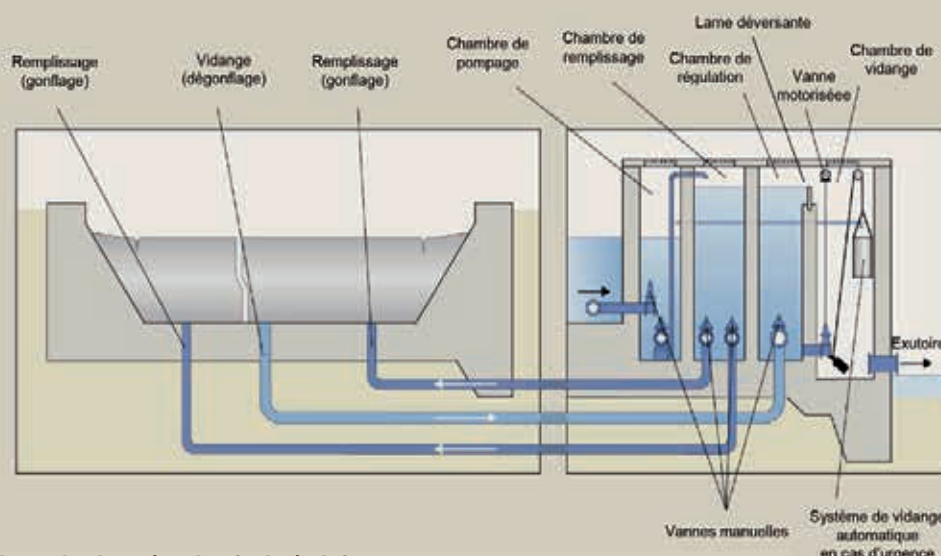
La modélisation a aussi permis de vérifier le débit d'attrait complémentaire à lâcher par le canal d'attrait, notamment en été.

**RÉALISATION DES TRAVAUX**

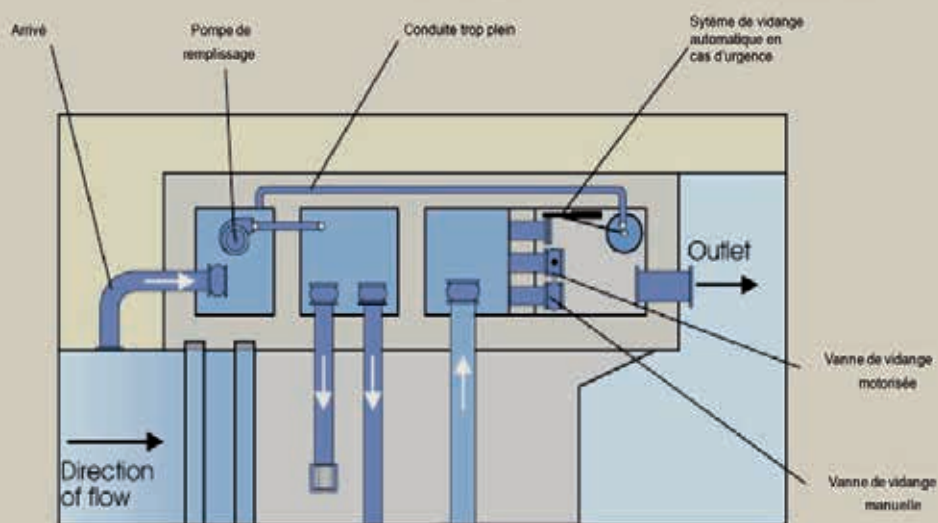
La tempête Éléonore, les 2 et 3 janvier 2018, a bousculé le planning et l'ordonnancement des travaux (figure 8). Le déversoir D1 en rive gauche d'une longueur de 55 m a été totalement détruit et, en particulier, la passerelle

**SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT D'UN BARRAGE GONFLÉ À L'EAU (BGE)**

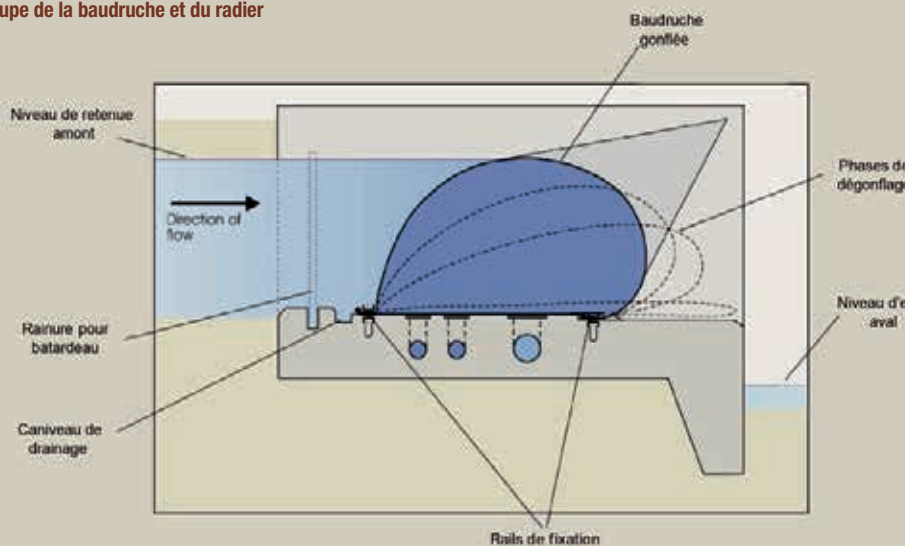
**Vue de face de la boudruche et coupe du système de puits de régulation**

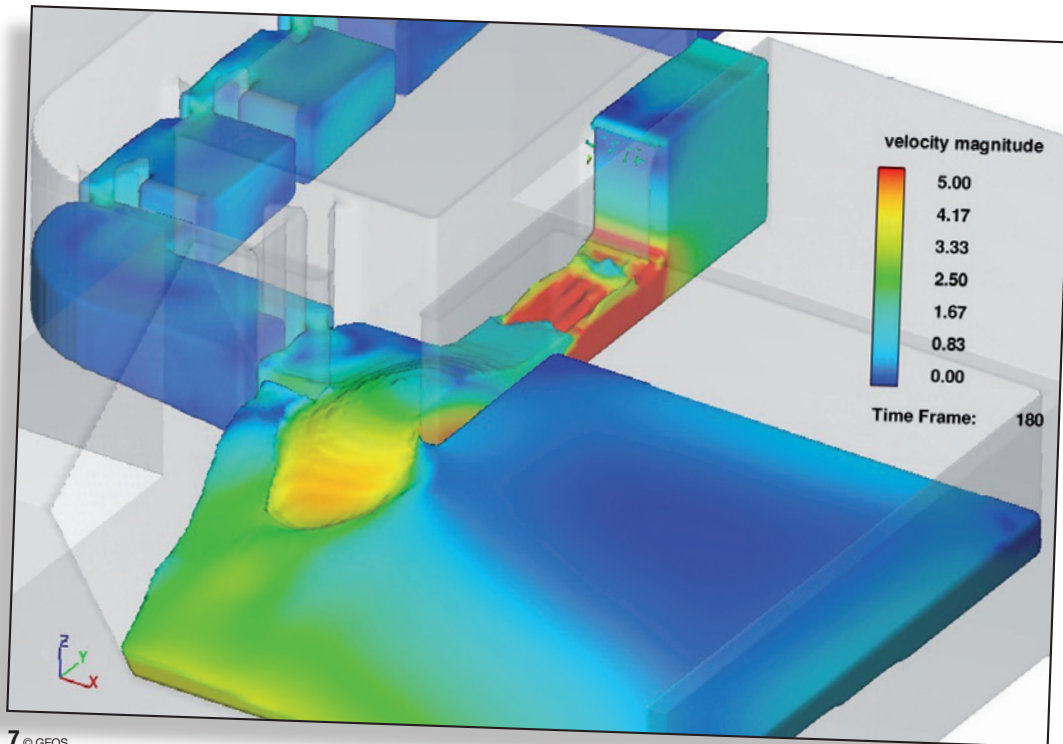


**Vue en plan du système de puits de régulation**



**Coupe de la boudruche et du radier**





7 © GEOS

7- Vue générale 3D et étendu du modèle réalisé sous FLOW-3D.

8- Déversoir après la tempête Eléanore.

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 (figure 9) et tenir la ligne d'eau. Ce marché a été notifié le 15 mai 2018 au groupement Maia Sonnier /Maia Fondations. Une fois la zone batardeée et asséchée, les travaux ont consisté principalement en :

→ La dépose et l'évacuation du platelage 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 bêche ancrée au substratum rocheux et d'une 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-gélfif bétonné de classe granulométrique LMA 60/300.

Le marché principal de restauration du barrage de Vaux a été attribué à l'entreprise Maia Sonnier le 21 janvier 2019. Trois sous-traitants ont été déclarés au démarrage du chantier : Maia Fondations, Sgi Ingénierie et Hydroconstruct. Le chantier a duré au total 10 mois à la suite de 2 mois de période de préparation.

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 BRH) et le nouvel ouvrage a été construit en amont des vestiges de celui-ci. Le radier en pierres de taille a été conservé, prévenant ainsi le risque d'affouillement hydraulique aval. ▷



8 © INGEROP



9 © INGEROP



10a

© MAIA



10b

© MAIA

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 Sonnier 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, encastrant 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 reçoivent la membrane de 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 réservations pour permettre la mise en place d'un batardeau en phase de maintenance.

Après réalisation du béton de lestage suivi des 380 m<sup>3</sup> de radier en 4 bétonnages, la surface a été traitée par minéralisation pour une meilleure étanchéité du béton. Les 3 piles comprenant

**10a- Incorporation des éléments pendant la phase de ferrailage.**

**10b- 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 of materials during the reinforcement phase.**

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

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

également les rails d'ancrage de la boudruche ont ensuite été ferrillées, coffrées et bétonnées. 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 (plis) 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 communicant 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 les boudruches testés en eau, les batardeaux de chantier ont été déposés 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 droites et circulaires ont été coulés.



11

© MAIA



© MAIA

12

Afin de permettre aux espèces 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 finalement coulé en place.

Enfin, un dallage en pente intégrant des enrochements légers couvre le fond de cette passe à poisson, ces macroplots 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

réalisées pour agrément avant réalisation de l'ensemble de la surface. Ces rugosités sont nécessaires à la montaison des espèces rampantes comme les anguilles.

Des engravures sont prévues dans les cloisons, qui permettent un batardage ou la mise en place de nasses pour l'entretien ou la capture d'espèces. □

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

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

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**ENCEINTE EN PALPLANCHES : 69 t**  
**SURFACE DE LA PLATEFORME DE TRAVAIL : 912 m<sup>2</sup>**  
**BÉTON ARMÉ : 1 638 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 / Geos Ingénieurs Conseils**  
**ENTREPRISE : Maia Sonnier**  
**FOURNITURE ET MISE EN ŒUVRE DES BGE (bouchures gonflées à l'eau) : Hydroconstruct**

### ABSTRACT

#### RESTORATION OF VAUX DAM (89)

PIERRE CHAUGNY, INGÉROP - PIERRE BOUGAUD, MAIA SONNIER

**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)

PIERRE CHAUGNY, INGÉROP - PIERRE BOUGAUD, MAIA SONNIER

**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 rellena en una ataguía de tablestacas. Durante 10 meses, se han movilizad 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 ataguías de mantenimiento han validado la puesta en servicio de la nueva construcción. □



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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> puis au XIX<sup>e</sup> 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 (vantellerie, 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®, rebricking 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 à 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.



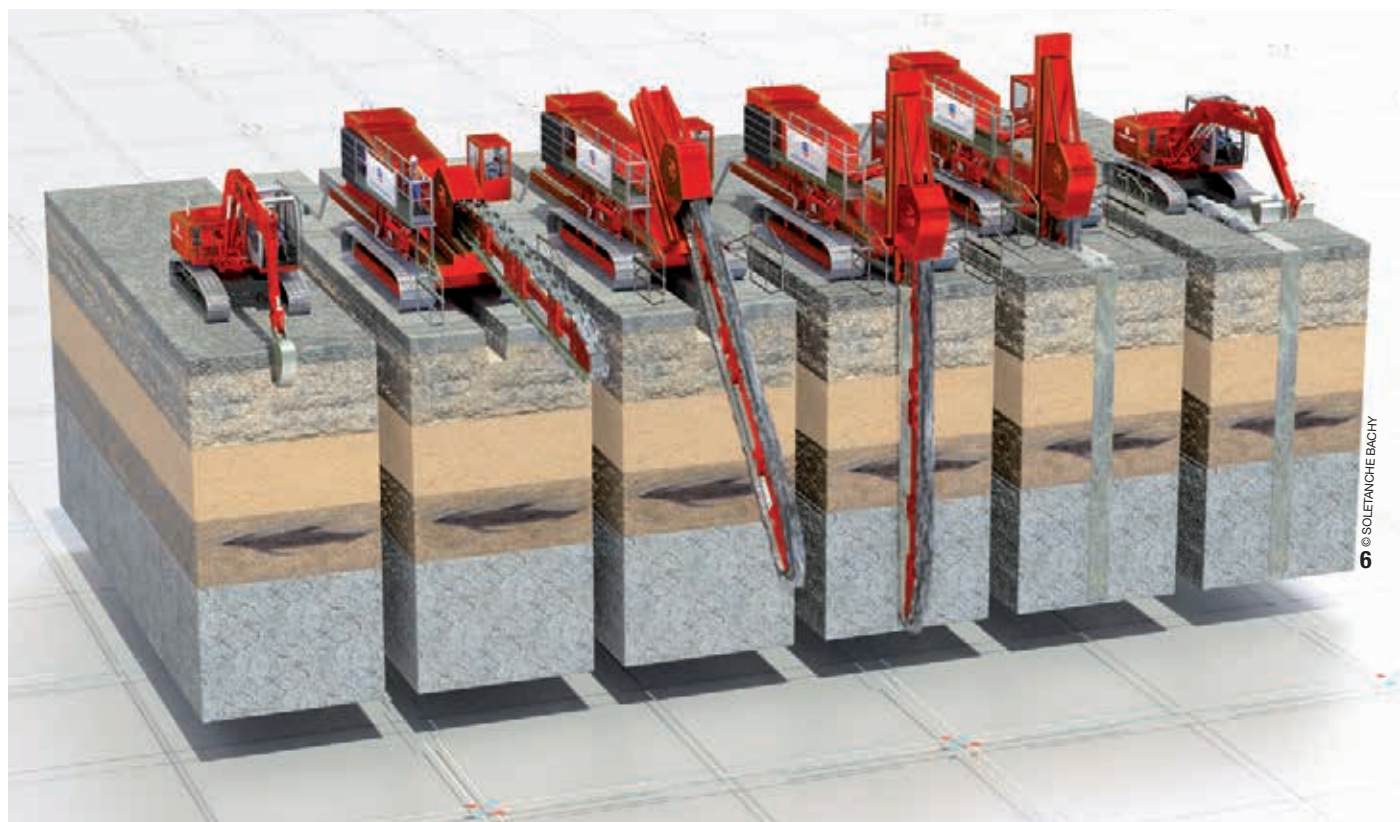
5 © CEDRIC HELSLY

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  $\phi'$  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 :



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  
© CÉDRIC 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 HELSLEY

### DES TRAVAUX À FORTE 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

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). □

9- Installations  
de chantier.

9- Site  
facilities.

### PRINCIPALES QUANTITÉS

**ÉCRAN TRENCHMIX® : 848 m<sup>2</sup> et 1 044 m<sup>2</sup>**

**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. □

Villes intelligentes  
Infrastructures innovantes  
Réseaux performants



**Bienvenue  
dans un monde  
qui se construit autrement.**

L'univers de la construction se transforme. SMABTP adapte ses solutions d'assurance pour mieux vous accompagner. Avançons ensemble.

**Notre métier : assurer le vôtre.**

[www.groupe-sma.fr](http://www.groupe-sma.fr)

SMABTP - Société mutuelle d'assurance du bâtiment et des travaux publics.  
Société d'assurance mutuelle à cotisations variables, entreprise régie par le Code des assurances.  
RCS PARIS 775 684 764 - 8 rue Louis Armand - CS 71201 - 75738 PARIS CEDEX 15



**SMABTP**  
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

**1<sup>er</sup> assureur  
de la construction**

# Engineering a Better Solution

Depuis 140 ans, le Groupe Maccaferri apporte à ses partenaires sa capacité d'innovation dans la réalisation d'ouvrages de haute technicité et d'une exceptionnelle longévité, sous la devise «Engineering a Better Solution».

Ses solutions sont pensées autour d'une double préoccupation : répondre à la dimension écologique et financière de chacun de vos projets, grâce à son expérience et son expertise acquises au fil des années.

## MACCAFERRI



Travaux de confortement et de sécurisation des voies d'accès à la Vésuble suite à la tempête Alex d'octobre 2020

Matelas RenoPlus X-Ties, Gabions double torsion, Remblai renforcé Terramesh® Vert