

# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX. PROTECTION DES PILES DU PONT DE PIERRE A BORDEAUX. DIGUE DU POLDER DU PORT DE BREST. EXTENSION DU TERMINAL CONTENEUR DE FREETOWN - SIERRA LEONE. CONSTRUCTION DE L'AUTOROUTE URBAINE DE LIMA - PEROU. CALAIS PORT 2015 : QUAI POUR FERRIES ET GRANDE DIGUE. REFONTE DU PORT SECONDAIRE DE L'ILE LONGUE - RADE DE BREST. DIGUES DE LA NOUVELLE ROUTE DU LITTORAL (NRL). REHABILITATION DU PONT FELIX HOUPHOUET-BOIGNY A ABIDJAN**

N° 946 NOVEMBRE 2018



TERMINAL  
CONTENEUR  
DE FREETOWN  
© BOLLORÉ

LES TRAVAUX  
PUBLICS  
FÉDÉRATION  
NATIONALE



ArcelorMittal

# ArcelorMittal Palplanches

Solutions complètes pour vos projets maritimes et fluviaux  
[palplanches.arcelormittal.com](http://palplanches.arcelormittal.com)



Développement du port de Brest - Lot M02 - Digue d'enclôture  
Mise en œuvre de palplanches AS 500® | Brest (FR)



Confortement de digue | Saint-Laurent-du-Var (FR)



Port Sundahöfn | Reykjavik (Islande)



ArcelorMittal Commercial RPS S.à r.l.  
Palplanches  
66, rue de Luxembourg  
L-4221 Esch/Alzette | Luxembourg  
T +352 5313 3105  
T +33 (0)3 82 59 11 20  
[palplanches@arcelormittal.com](mailto:palplanches@arcelormittal.com)

ArcelorMittal Sheet Piling (group)

**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@fnfp.fr**Comité de rédaction**

Erica Calatozzo (Systra), Jean-Bernard Datry (Setec tpi), Philippe Gotteland (Fnfp), Jean-Christophe Goux-Reverchon (Fnfp), Florent Imberty (Razel-Bec), Nicolas Law de Lauriston (Léon Grosse), Romain Léonard (Demathieu Bard), Claude Le Quéré (Egis), Véronique Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Solène Sapin (Bouygues Construction), Claude Servant (Eiffage tp), Philippe Vion (Vinci Construction Grands Projets), Nastaran Vivan (Artelia), Michel Morgenthaler (Fnfp)

**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.frFrance (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**  
2, rue du Roule - 75001 Paris  
Tél. 01 42 21 88 02 - Fax 01 42 21 88 44  
contact@rive-media.fr  
www.rive-media.fr**Directeur de clientèle**  
Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04  
b.cosson@rive-media.fr**Site internet : 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 Bern - 75008 Paris  
Commission paritaire n°0218 T 80259  
ISSN 0041-1906

## VERS UN RENOUVEAU DES INVESTISSEMENTS MARITIMES ET FLUVIAUX DANS LE MONDE ET EN FRANCE



© DR

Malgré le ralentissement de la croissance du commerce mondial après la crise de 2009, le transport maritime mondial a quadruplé depuis 1970, atteignant 10,7 Gt en 2017, et se développe en France sur cinq marchés porteurs : les conteneurs, la croisière, le roulier, le gaz liquéfié et les énergies marines renouvelables, tandis que le transport fluvial bénéficie d'un regain d'intérêt pour ses performances de mode massifié.

Les besoins d'infrastructures nouvelles dans les ports et leur hinterland fluvial sont considérables. Pour les pays développés, la question du sous-investissement chronique dans les infrastructures fluviales se pose avec acuité. Dans les deux cas, la gestion intelligente de ces infrastructures permet d'accroître leur capacité.

En matière de conception, la tendance générale est d'aller vers des infrastructures plus résilientes aux événements extrêmes, et de mieux les inscrire dans leur milieu naturel en déployant le concept d'*Œuvrer avec la Nature*, qui prône notamment dès le début des projets la prise de connaissance détaillée de l'environnement naturel et la concertation avec les parties prenantes.

L'association mondiale pour les infrastructures de navigation maritime et fluviale (AIPC�) poursuit sa mission d'accompagner les maîtres d'ouvrage, leurs maîtres d'œuvre et leurs contractants pour bénéficier des meilleures pratiques internationales, grâce à un réseau de 450 entreprises ou membres collectifs et de 2 000 experts ou spécialistes présents dans 70 pays. Les deux exemples récents les plus marquants ont été l'élargissement du canal de Suez en

2015, suivi en 2016 de l'achèvement des nouvelles écluses du canal de Panama.

Quelques exemples illustreront la situation en France des cinq marchés porteurs évoqués plus haut.

La volonté d'accueillir les porte-conteneurs de plus de 20 000 EVP a conduit le port du Havre à réaliser PORT 2000, dont les deux derniers postes à quai viennent d'être décidés, le port de Marseille à réaliser Fos 2XL et à viser Fos 3XL et Fos 4XL, tandis que Dunkerque cherche à émerger sur ce marché avec le projet CAP 2020.

Le marché européen de la croisière poursuit sa croissance avec un élargissement de sa clientèle et un accroissement de la taille des navires, ce qui a récemment conduit le port de Marseille à allonger la digue du Large et à élargir la passe d'entrée. De même Monaco, qui s'était illustré il y a une dizaine d'années par la réalisation de digues flottantes, a repris ses travaux d'extension en mer.

Le marché des ferries, vu la concurrence du Tunnel, recherche aussi des effets d'échelle avec des navires de 240 m de long, ce qui a conduit à réaliser Calais 2015.

Le marché de l'énergie carbonée a connu à Dunkerque la reconversion de l'ancien terminal pétrolier en un terminal méthanier, précurseur de la transition énergétique en cours qui va voir nombre de navires utiliser une motorisation GNL.

Les énergies marines renouvelables nécessitent des plates-formes d'assemblage pour les champs éoliens en mer et des bases logistiques pour la maintenance de ces champs, tandis que le développement de l'électricité à quai limitera les émissions des navires lors de leur séjour aux ports, ce qui conduit les ports à co-investir pour offrir des énergies décarbonées à leurs clients.

Les grands investissements fluviaux comme la liaison Seine-Nord-Europe, dont la réalisation est confiée à une société de projet, seront complétés aux deux extrémités avec l'aménagement au Nord de Lys mitoyenne et au Sud avec le projet Mageo d'aménagement de l'Oise ou avec celui de la Seine entre Bray et Nogent, sans parler des investissements urgents de mise en sécurité des ouvrages hydrauliques.

**GEOFFROY CAUDE**  
PRÉSIDENT DE L'AIPC�LISTE DES ANNONCEURS : ARCELORMITTAL, 2<sup>e</sup> DE COUVERTURE - SETEC/TERRASOL, P.11 - PRO BTP, P.15 - CNETP, P.17 - BALINEAU, P.19 - BTP BANQUE, P.41 - SMA BTP, 3<sup>e</sup> DE COUVERTURE - MACCAFERRI, 4<sup>e</sup> DE COUVERTURE



# TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

CALAIS PORT 2015 - CONSTRUCTION D'UN QUAI POUR L'ACCOUEIL DES FERRIES © BOUYGUES TP





04 ALBUM

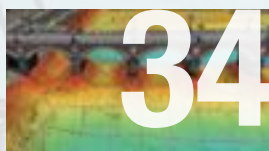
08 ACTUALITÉ



20

**ENTRETIEN AVEC  
JEAN-PIERRE MORTREUX**  
ASAGAO : DE L'EXPERTISE  
MARITIME ET FLUVIALE À LA LUTTE  
CONTRE LA POLLUTION

26 IDEOL : ÉOLIEN OFFSHORE FLOTTANT -  
LE PARI SUR L'AVENIR



34

**LES GABIONS DE  
PROTECTION DES PILES  
DU PONT DE PIERRE**  
à Bordeaux



42

**DIGUE D'ENCLÔTURE  
DU NOUVEAU POLDER  
DU PORT DE BREST**  
en gabions de palplanches



48

**EXTENSION DU TERMINAL  
CONTENEUR DE FREETOWN**  
au Sierra Leone



54

**DÉFIS HYDRODYNAMIQUES  
DE LA CONSTRUCTION  
DE L'AUTOROUTE URBAINE  
DE LIMA**  
au Pérou



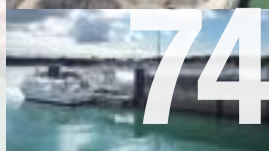
61

**CALAIS PORT 2015**  
Construction d'un quai  
pour l'accueil des ferries



68

**LA GRANDE DIGUE  
DE CALAIS 2015**



74

**REFONTE DU PORT  
SECONDAIRE  
DE L'ÎLE LONGUE**  
dans la rade de Brest



80

**LES DIGUES  
DE LA NOUVELLE ROUTE  
DU LITTORAL (NRL)**  
De la conception à la réalisation



86

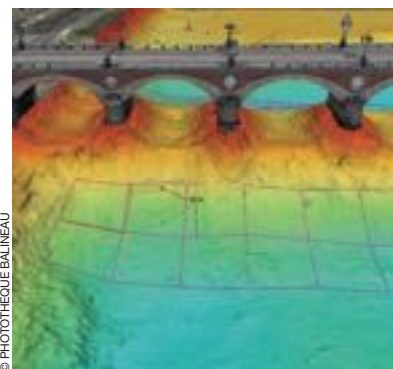
**RÉHABILITATION DU PONT  
FÉLIX HOUPHOUËT-BOIGNY  
PAR VOIE NAUTIQUE**  
sur la lagune Ebrié à Abidjan



## NAPOLÉON A FAIT CE PONT SUR LA GARONNE CAESAR PONTEM FECIT\*

**BALINEAU** (mandataire), Eiffage TMF et Vinci CMF ont réalisé, sur ce pont qui a plus de deux siècles d'existence menacé par les affouillements, un confortement par filets et gabions faisant appel à des moyens élaborés. Une maquette 3D du fond a été réalisée à partir d'un levé multifaisceau pour dresser un calepinage précis des protections. Celles-ci, d'un poids unitaire atteignant 120 t, ont été posées ensuite au moyen d'un ponton-grue et d'un ponton-portique spécialement conçus, sous contrôle par plongeurs et caméra acoustique 3D, dans des eaux à forte turbidité.

(Voir article page 34).



© PHOTOTHÈQUE BALINEAU

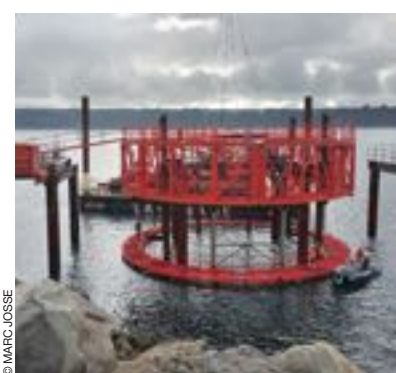




## UNE BELLE GABIONNADE POUR UN POLDER À BREST

**BOUYGUES TPRF** (mandataire), Pigeon Bretagne Sud, Liziard, Stpa et Sodrac, sous maîtrise d'œuvre Egis Ports, ont réalisé une "gabionnade", c'est-à-dire une succession d'enceintes circulaires de palplanches remplies de matériaux de carrière, de 860 m de développement. Cet ouvrage, d'une conception rare en France, en variante par rapport à une digue en remblai, permet la création d'un polder de 14 ha dans des conditions techniques et environnementales strictes.

(Voir article page 42).



© MARC JOSSE

## PORT DU FUTUR : RÉUTILISER LES SÉDIMENTS

**Les 8<sup>e</sup> assises Port du futur ont consacré une demi-journée aux sédiments marins et fluviaux, aux impacts du chantier sur le milieu marin et à la détection précoce de corrosion.**



Drague stationnaire à désagrégateur pour refoulement des sédiments sortis de la Seine vers la ballastière d'Yville (Seine-Maritime) à combler.

« 95% des 25 millions de tonnes de matières sèches portuaires draguées en France sont redépensés en mer, le reste est stocké, » a informé Pierre-Yves Belan, chef de la division impacts environnementaux et activités au Cerema-EMF, à Port du futur<sup>(1)</sup>. Un mètre cube dragué et immergé coûte

2-3 euros, le même refoulé à terre, 10-12 euros, selon Pascal Gabet, directeur du chenal et des travaux maritimes d'Haropa Port de Rouen<sup>(2)</sup>. Stockés à terre, compter 40-300 euros la tonne de sédiments secs, d'après M. Belan. Le clapage en mer de matériaux contaminés sera interdit par la loi en 2025.

Haropa Port de Rouen drague 4,5 millions de m<sup>3</sup> dans l'estuaire de la Seine (hors Port du Havre) et les renvoient à la mer. Sur le chenal de 120 km jusqu'au port de Rouen, 100 000 m<sup>3</sup> sont extraits du fleuve et 250 000 m<sup>3</sup> à Rouen. Ces sédiments-là sont interdits de clapage. Les vases, polluées, vont combler la ballastière d'Yville (Seine-Maritime). Les autres matériaux sont traités dans 5 stations de transit. Une partie seulement convient aux filières béton et génie civil. « Il faut trouver une utilité au reste en mélange avec d'autres matériaux, » observe Pascal Gabet.

Une expérimentation intègre les vases du Port du Havre dans la fabrication de produits en terre cuite (projet Sedibric).

### → Sable pollué remis dans le port

Sur les 40 000 m<sup>3</sup> sortis du port de plaisance de Port Camargue (Gard), 2 000 étaient pollués par du cuivre, des HAP, PCB, etc. Le traitement de l'ensemble a consisté, après analyse, à les calibrer par hydrocyclone. La vase de moins de 80 microns a été évacuée en centre d'enfouissement technique. Les matériaux peu contaminés, à 90 % du sable, ont servi à reconstituer un cordon dunaire

au Grau du Roi. Le reste du sable pollué a été remis au fond du port avec autorisation de l'État.

Il n'y avait pas de place à terre à Monaco pour les sédiments pollués extraits de l'Anse du Portier (extension sur la mer), soit 10 % des 600 000 m<sup>3</sup> dragués. « Nous avons un centre de traitement à Toulon, c'est ce qui nous a permis de remporter le marché de dragage, opération que nous avons menée à bien grâce à une collaboration étroite de deux ans avec Bouygues, » relate Daphné Glaser, directrice du développement d'Envisan, filiale environnement de Jan de Nul Group.

### → Plusieurs chaînes de traitement

Le traitement par lagunage a démarré à Toulon. Une partie va en installation de stockage de déchets non dangereux. Des sables et graviers sont valorisables en terrassement ou en carrière. Le site de 4 hectares comprend plusieurs chaînes de traitement pour la production d'éco-matériaux. ■

<sup>(1)</sup> 8<sup>e</sup> assises Port du futur, 25-26 septembre, Paris, Cerema Eau, mer et fleuves.

<sup>(2)</sup> Les ports sur la Seine se sont regroupés dans Haropa Ports de Paris Seine Normandie.

## PROJETS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE EN MILIEU CÔTIER

« Cherche un port pilote pour un démonstrateur en 2020 » : Naval Group a lancé cet appel pour implanter la géomembrane de confinement d'un chantier côtier, lors de Port du futur<sup>(1)</sup>. La Subsea Quieter (SSQ) est retenue pliée au fond de la mer par ancrage. Elle se gonfle en hauteur délimitant une zone de travail ou autour d'un pieu (battage), tout en laissant passer l'eau. En fin de chantier, elle se replie vers la surface où elle est "ramassée".

### → Moins de bruit et une eau plus claire

La SSQ est un des 3 volets du projet européen Agescic (Life) démarré en septembre et porté par Naval Group.

Le projet vise à réduire la turbidité de l'eau due à un chantier et le bruit. Ce dernier empêche baleines, dauphins, etc. de communiquer entre eux et peut même tuer. Il permet de répondre à la directive cadre 2008/56/CE sur le bon état écologique du milieu marin.

Agescic inclut Smart Pam, bouée qui

évalue le dépassement de seuils du bruit et repère les cétacés. Le 3<sup>e</sup> volet, Avorest, attire les larves de poissons vers des habitats artificiels.

Autre appel à contribution : Lerm Setec et A-Corros cherchent des ouvrages représentatifs où installer la sonde Diamond<sup>(2)</sup>, évaluatrice de corrosion de l'acier dans le béton ou dans les structures métalliques.

### → Révéler la corrosion très tôt

Diamond déterminera la vitesse de corrosion, lors d'un diagnostic ou d'une visite périodique. La sonde de monitoring, conçue pour du béton armé, est en cours d'adaptation à des ouvrages métalliques, avec une fiabilité basée sur la modélisation. Pour estimer l'évolution de la corrosion dans le temps, la sonde doit être installée à demeure. « Nous testons la durabilité du scellement des sondes, indique Sébastien Bergerot, ingénieur corrosion-protection cathodique chez A-Corros, et nous travaillons à une version immergée en mer. »

Les maîtres d'ouvrage n'ont pas conscience du risque de corrosion, 1<sup>er</sup> motif de réparation. « Une fois amorcée, il n'y a pas de retour en arrière, souligne Jean-Louis Perrin, coordonnateur projet Diamond au Lerm Setec. À terme, Diamond génère des économies car elle révèle la corrosion quand elle est encore invisible. »

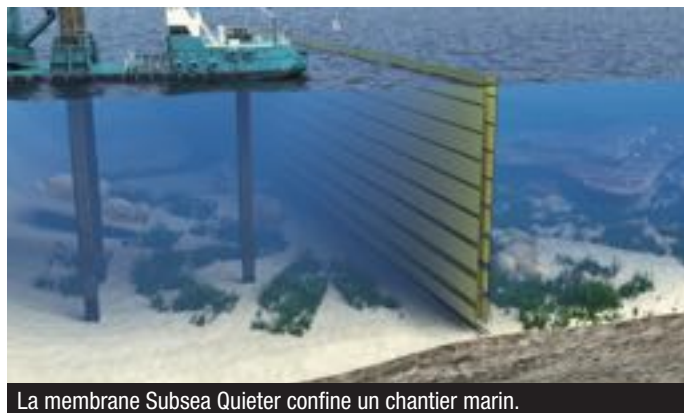
### Projet Agescic sur :

[www.pole-mer-bretagne-atlantique.com](http://www.pole-mer-bretagne-atlantique.com) ;

[www.projet-diamond.com](http://www.projet-diamond.com) ■

<sup>(1)</sup> Port du futur, 25-26 septembre, Paris, organisé par le Cerema Eau, mer et fleuves.

<sup>(2)</sup> Avec EDF et le LMDC Toulouse.



La membrane Subsea Quieter confine un chantier marin.

## PRÈS DE 37 MW DE PETITE HYDROÉLECTRICITÉ À INSTALLER



Seuil d'Ormes (Saône-et-Loire) qui va être équipé d'une centrale électrique de 1,8 MW en partenariat entre VNF et JMB Hydro.

Quatorze projets de petite hydroélectricité, entre 1 et 4,5 MW, ont été sélectionnés le 23 août par Nicolas Hulot, alors ministre de la Transition écologique et solidaire, pour bénéficier d'un tarif garanti de rachat des kilowattheures sur vingt ans (appel d'offres de 2017). Représentant 36,9 MW au total, ils doivent être mis en service au plus tard en 2022.

La région Auvergne/Rhône-Alpes rafle la première place avec 9 sites (24,8 MW). Deux projets - Gavet (Isère) et Miage (Haute-Savoie) - émanent de l'industriel Quadran dont la filiale JMB Hydro est, par ailleurs, partenaire de Voies navigables de France en Saône-et-Loire (Ormes, Charnay) et en Seine-et-Marne (Marolles), pour l'implantation de turbines sur

des seuils existants, dans le même appel d'offres.

### → Sans retenue

La qualité environnementale a pesé dans la sélection des lauréats. Par exemple, les projets Merderel Énergie à Albiez-le-Jeune (Savoie, 1,6 MW), et Croix et Jorasse Énergie à Cordon (Haute-Savoie, 1,9 MW) portés par Voltalia, sont installés

au fil de l'eau, sur une haute chute, sans retenue pour les faire tourner.

Les appels d'offres visent à soutenir le développement de la petite hydro-électricité, énergie renouvelable. Prochain appel lancé en décembre.

### Liste des lauréats sur :

[www.france-hydro-electricite.fr](http://www.france-hydro-electricite.fr) ■

## DÉVELOPPEMENT DES CENTRALES HYDRAULIQUES MODESTES

**La petite hydroélectricité est soutenue par l'État car elle a peu d'impact sur l'environnement, le plus souvent. La direction de l'Énergie privilégie aussi la rénovation des centrales hydroélectriques existantes et leur montée en puissance\*. Ces choix devaient être réaffirmés dans la 2<sup>e</sup> programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023 publiée cet automne. Actuellement, l'hydraulique fournit 67 TWh d'électricité par an à partir de 25,5 GW installés, avec un potentiel de développement qui dépasse 1 GW supplémentaire, objectif pour 2023.**

**Les obstacles au développement de cette énergie renouvelable, loin d'être nouvelle, sont nombreux : concurrence avec l'électricité d'origine éolienne et solaire, investissement sur un temps long. De plus, l'interconnexion des réseaux d'électricité en Europe diminue la nécessité d'avoir des puissances électriques d'appoint.**

\*Cf. colloque hydroélectricité, 11 octobre 2018, Syndicat des énergies renouvelables, [www.enr.fr](http://www.enr.fr).

## TIGNES S'OFFRE UNE TURBINE SUR L'EAU

À la mi-2019, 15% de l'électricité consommée à Tignes (Savoie) y compris par les remontées mécaniques, viendra d'une centrale hydraulique de 4 MW. Le projet Tignénergies associe la Régie électrique et du service des eaux de Tignes et la société Sumatel.

Le chantier de la petite centrale conçue avec Hydrétudes, a été confié à Mauro (génie civil, canalisations). Les travaux de réseau, débutés en juin, tiraient sur leur fin en octobre et la turbine sera mise en service en 2019.

### → Économie : 1 million d'euros par an

La centrale est implantée sur la rive amont du lac de Chevril, formé en 1952 sur l'ancien village de Tignes, en contrebas de la station de ski. Ce lac alimente un barrage EDF qui produit plusieurs centaines de millions de kilowattheures par an. Tignénergies devrait en produire

une dizaine de millions, ce qui représente, pour la commune, une économie de 1 million d'euros par an (non achat d'électricité). En période de basse consommation, le surplus est vendu à EDF.

La conduite forcée puise l'eau dans le lac de Tignes à l'altitude de la station (2 100 m). Elle descend sur 1,8 km le long du ruisseau des Combes avec un dénivelé de 240 m. La tranchée abrite aussi une canalisation haute pression d'eau potable. Les tubes sont en fonte, emboîtables (Saint-Gobain-Pam).

### → Protection des batraciens

Des mesures de protection de la faune et de la flore ont été prises. Citons des filets pour empêcher grenouilles et crapauds de côtoyer les engins de chantier. Certaines espèces ont été transplantées. Coût de la centrale : 6,5 millions d'euros. ■



Tignes (Savoie) a profité de la tranchée de la conduite forcée pour y loger une canalisation d'eau potable.

## RÉHABILITER UNE CENTRALE HYDRAULIQUE

Ceux qui s'intéressent à la réhabilitation de centrales hydroélectriques trouveront nombre de renseignements dans les deux brochures que l'Agence pour l'environnement et la maîtrise de l'énergie (Ademe) y consacre (2017). La première aborde les démarches administratives, techniques (6 pages) et l'intégration de la continuité écologique. La seconde se concentre sur le montage juridique et financier. Les deux documents de 20 pages illustrées émanent de la direction régionale de l'Ademe en Bourgogne/Franche-Comté. Ils citent des exemples d'amélioration apportée sur des sites existants. <https://bourgogne-franche-comte.ademe.fr/mediatheque/publications/energies-renouvelables>

## CHANTIERS ET MILIEU NATUREL

Le Centre d'expertise pour les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) publie un guide technique sur la prise en compte des habitats et des espèces lors de chantiers d'infrastructures routières.

À partir de connaissances et de retours d'expérience, l'ouvrage de 136 pages, payant, aborde cet impact y compris selon le type de marché de travaux, et les mesures à mettre en œuvre pour éviter de détruire le milieu naturel ou de le polluer.

## LE SÉNAT SE PENCHE SUR LES PONTS

Le Sénat a lancé fin septembre une mission d'information sur l'état de 200 000 ponts gérés par l'État ou par des collectivités locales.

Pendant six mois, la fiabilité des ouvrages sera étudiée. Un audit indépendant avait révélé avant l'été que 7% des ouvrages du réseau routier national avaient besoin de réparation structurelle (cf. Travaux n°944, septembre 2018 page 8).

## MOBILITÉ : SOUTIEN À LA NOUVEAUTÉ

Ajaccio (Corse) se prépare à accueillir un téléphérique avec l'aide de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. La ville (68 000 habitants) a été retenue dans l'appel à projets "French mobility, Territoires d'expérimentation de nouvelles mobilités durable" avec 25 autres collectivités de moins de 100 000 habitants. Paralysée par les bouchons, elle veut créer une zone commerciale et un pôle d'activités. Un 2<sup>e</sup> groupe de lauréats était désigné fin octobre.

Autre appel à projets French mobility, le "France expérimentation", ouvert à tous jusqu'au 14 décembre. Il soutient des projets innovants nécessitant des dérogations législatives et réglementaires. [www.ecologie-solidaire.gouv.fr/french-mobility](http://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/french-mobility)

## LE VÉHICULE CONNECTÉ ET LA ROUTE

La Plateforme de la filière automobile et Routes de France ont signé un protocole de coopération sur les interactions entre véhicule autonome, motorisation électrique et infrastructures, fin septembre.

Leur collaboration technique porte sur les expérimentations, la transition écologique et énergétique, et la sécurité routière.



Les voitures électriques ont besoin de bornes de recharge.

## 70 ANS DU CFMS

### RECONNAÎTRE LES SOLS POUR CONNAÎTRE LES PARTICULARITÉS LOCALES



© SERVICE COMMUN DES CARRIÈRES SOUTERRAINES-MEL

Inspection d'une carrière de calcaire à Hellemmes (Lille, Nord). La peinture sert à suivre les désordres structuraux du pilier.

« Les données obtenues par carottage et essais sont très importantes en étude géotechnique », a souligné Thierry Fremont, directeur Sud-Ouest de Geotec, aux 70 ans du Comité français de mécanique des sols et géotechnique (cf. ci-dessous). La région de Bordeaux en a besoin pour compenser les tassements de ses sols compressibles, peu perméables et à résistance limitée. Des digues qui protègent des inondations la centrale nucléaire du Blayais (Gironde) ont baissé de 60 cm à 1,20 m. Leur renforcement est à l'étude. Des sinistres dans le Port du Havre ont poussé l'État à investir dans un service géotechnique en interne. « Nous associons les données recueillies par sondages et piézomètres à un système

d'informations géographiques, explique Mathieu Le Coat, géotechnicien. Nous aimerions constituer une base de données des 4 310 sondages depuis 1904 et des essais. »

#### → Galeries d'eau dans les collines à Lyon

La Commission des Balmes à Lyon complète aussi sa connaissance du sous-sol. Les Balmes désignent les "falaises" devenues collines de Fourvière et de la Croix-Rousse. Constituées de granit et gneiss recouverts de sédiments marins et de moraines, puis de loess en surface, elles sont traversées par des ouvrages d'évacuation de l'eau, abandonnés.

Les glissements de terrain - en 1930 et 1932 et plus récemment, en 1977 et 1981 - ont motivé la délimitation de

zones à risques avec obligations et contraintes d'urbanisme.

Lors de l'installation de nouveaux jeux dans le parc Sutter à la Croix-Rousse en 2016, la ville suspectait un vide ou une zone remaniée dessous. Une galerie d'eau a été découverte qu'il faut combler.

#### → Nouveau service d'inspection des carrières

Dans la région de Lille (Nord), 25 % des 165 carrières souterraines de calcaire sont encore inconnues, donc dangereuses. La Métropole européenne de Lille (Mel) qui observe 5 à 10 effondrements par an, a décidé de créer un service commun de ces carrières avec 10 autres communes de l'agglomération. Ce service, effectif depuis le 1<sup>er</sup> juin, reprend l'activité du département du Nord (1967-2006). Missions : inspection, prévention, gestion, actions curatives.

« Nous établissons des cartes d'exposition aux risques à partir de la reconnaissance des sols par micro gravimétrie depuis la surface, par sondages et par visites sous terre », explique Gaëtan Cheppe, responsable du service commun géré par Lille.

[www.cfms-sols.org/documentation/retour-sur-les-70-ans-du-cfms](http://www.cfms-sols.org/documentation/retour-sur-les-70-ans-du-cfms) ■

## LE CFMS PUBLIE NOMBRE DE RECOMMANDATIONS

Le Comité français de mécanique des sols et de géotechnique (CFMS) invite à une conférence le 6 décembre<sup>(1)</sup> sur les fondations d'éoliennes en mer. Son groupe de travail sur ce thème, créé en 2013, a publié des recommandations le 1<sup>er</sup> juillet 2018. Le document succède à celui sur les fondations d'éoliennes à terre (2007-2012).

C'est un exemple de groupes de travail du CFMS qui a fêté ses 70 ans le 4 octobre (300 personnes). D'autres groupes ont publié des recommandations : sur les colonnes ballastées (2011), les fondations de grues à tour (2015) et les structures géothermiques (2017). Un groupe se réunit depuis 2016 sur les terrains gonflants et les ouvrages d'in-

frastructures, et plus récemment, en 2018, un autre sur le rabattement de nappe lié aux travaux de construction. Signalons également pour 2020 une nouvelle version du TA95 sur les tirants d'ancrage.

Le CFMS, constitué en 1948<sup>(2)</sup>, rassemble 676 membres individuels dont 8 % hors de France, 84 % d'hommes et 16 % de femmes, et 19 % de moins de 35 ans.

#### → Optimiser une opération grâce à la géotechnique

Attirer les jeunes et les femmes dans le secteur fait partie de ses objectifs. Élargir ses partenariats, aussi, notamment avec les associations sœurs à l'international.

« Nous voulons sensibiliser les acteurs de la construction à la géotechnique, notamment à l'optimisation des opérations grâce à elle et à la gestion du risque, a précisé Valérie Bernhardt, présidente du Comité. Faut-il s'impliquer dans la normalisation en tant qu'association, faut-il créer une certification individuelle de géotechnicien, sont aussi des questions en cours, à côté de la meilleure prise en compte du changement climatique et de la transition écologique, des volets maintenance et réhabilitation, et de l'enseignement. » ■

(1) À l'Isttar, à Champs-sur-Marne (Seine-et-Marne).

(2) Un historique sera publié d'ici à la fin de l'année sur [www.geotechnique.org](http://www.geotechnique.org).



terrasol

setec

Ingénieurs-Conseils  
en géotechnique

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

INGÉNIERIE

LOGICIELS

» Conception, Maîtrise d'oeuvre, Expertise

Développement, Assistance technique, Formation «

Terrasol est un leader reconnu dans le domaine de l'ingénierie géotechnique, en France comme à l'étranger.

**Parmi nos références récentes en France :** Grand Paris Express, Eole, Port de Brest, Barrages Aisne et Meuse, Métro de Rennes, Kourou Ariane 6, Terminal méthanier de Dunkerque, Le Havre Quai Callet...

**Et à l'étranger :** Aéroport des Maldives, Monaco - Anse du Portier, Centrale électrique de Plomin, Réservoirs Al-Zour, EPR UK, 3<sup>ème</sup> pont sur le Bosphore, Baie de Cocody, Corniche de Brazzaville, Port de Vintimille, Cap Lopez...



Paris

Tél : +33 (0)1 82 51 52 00  
Fax : +33 (0)1 82 51 52 99  
Email : [info@terrasol.com](mailto:info@terrasol.com)

Lyon

Tél : +33 (0)4 27 85 49 35  
Fax : +33 (0)4 27 85 49 38  
Email : [lyon@terrasol.com](mailto:lyon@terrasol.com)

Maroc

Tél : +212 (061) 25 53 89  
Fax : +212 (528) 03 64 00  
Email : [Telmarok@terrasol.com](mailto:Telmarok@terrasol.com)

Tunisie

Tél : +216 71 23 63 14  
Fax : +216 71 75 32 88  
Email : [info@terrasol.com.tn](mailto:info@terrasol.com.tn)

## CHANGEMENT DES PORTES D'UN BASSIN DE SOUS-MARINS NUCLÉAIRES



Les anciennes portes et feuillures ont été démolies à l'eau sous pression et par sciage.

Les deux portes des bassins destinés à l'entretien de sous-marins nucléaires sur l'île Longue (Finistère) ont été changées. L'environnement militaire et nucléaire a marqué la conception et le déroulement du chantier.

Les démarches de Spie Batignolles Génie Civil ont démarré en 2011. Les portes ont été remises en service en juillet 2018. Les travaux, en eux-mêmes, ont duré deux fois 27 semaines séparées par trois ans environ.

Spie Batignolles s'est vu confier par le Service d'infrastructure de défense le renforcement et l'adaptation du génie civil. Il était entouré de Phimeca pour le dossier de sûreté nucléaire, incluant la stabilité de l'ouvrage pendant le chantier et tout au long de sa vie, et de Cnim pour les portes métalliques coulissantes.

→ **Sciage au disque jusqu'à 1800 mm de diamètre**

Outre les mesures de prévention aux risques, les formes de radoub (bassins)

doivent répondre à des exigences supérieures à la normale dans cet environnement. Le personnel a fait l'objet d'enquêtes.

Le chantier a nécessité deux grues, l'une de 220 tonnes pour installer l'autre de 35 tonnes en contrebas, en cale sèche. La démolition des anciennes feuillures a été réalisée par sciage à disque jusqu'à 1800 mm de diamètre et par hydro-démolition au robot et à la lance à 3500 bars de pression. Les deux techniques de démolition étaient employées en même temps. La laitance du béton a été décaantée à 10 m<sup>3</sup>/h.

→ **Verticalité du coffrage par lest**

Parmi les autres particularités techniques, citons l'encadrement des portes posé au 8/10<sup>e</sup> de millimètre. Un géomètre était là pour le vérifier.

Les rails de guidage des portes ont été calés au millimètre près. La verticalité d'un coffrage a été obtenue par un système de lest. ■

## TUNNEL D'ASSAINISSEMENT EN ÉCOSSE

Vinci Construction Grands Projets et Costain ont livré un tunnel d'eaux usées à Glasgow (Écosse), cet été.

L'ouvrage de 4,7 m de diamètre et 5 km de long soulage le réseau en stockant 90000 m<sup>3</sup>, ce qui réduit les inondations en cas de pluie et la pollution de la rivière Clyde.

Un tunnelier de 180 m a travaillé à 10 m de profondeur dans un environnement urbain, passant sous des voies de chemin de fer et d'anciennes mines de charbon. 90% des 500000 tonnes de terre, roche et argile excavées ont été revalorisées.

Ce chantier de deux ans s'intègre dans un programme de modernisation du réseau d'assainissement de Glasgow par Scottish Water.

Montant : 115 millions d'euros.

**S'ATTAQUER À 3  
AU TÉLÉPHÉRI-  
QUE URBAIN**

*Eiffage, Poma (transport par câble) et la RATP s'allient pour proposer des solutions clés en main de téléphérique urbain aux collectivités locales. Ils ont recensé 17 projets de ce type rien qu'en Île-de-France.*

*Par ailleurs, le groupe Eiffage a annoncé vouloir acquérir Meccoli, spécialiste en pose et maintenance de voies ferrées. L'opération sera confirmée début 2019.*

**RENAISSANCE DU PONT SEIBERT**



© FRANCK BADAIRE/SPL VAL-DE-SEINE AMÉNAGEMENT

© INGÉROP-AEI ARCHITECTURE-RCR ARCHITECTES

De l'ancien ouvrage reliant le site Renault aux berges de Boulogne-Billancourt (Hauts-de-Seine), restent la forme en arc et l'acier.

Le pont Seibert, routier à sa construction en 1931, accueillera en 2021 un bus à haut niveau de service, des piétons et vélos et le système de défense incendie de l'île Seguin qu'il relie à Boulogne-Billancourt (Hauts-de-Seine).

L'ouvrage métallique, très corrodé, a dû être démolí. Le nouveau pont reprend la forme en arc et l'acier. Il s'accompagne de liaisons vers les berges et d'une esplanade par évasement de 13-14 m sur 25 m de large côté île (ex-site industriel Renault).

La déconstruction de la travée métallique de 1 000 tonnes au-dessus du fleuve, a eu lieu en septembre. La reconstruction démarre au 2<sup>d</sup> semestre 2019.

**→ 25 millions d'euros**

Maîtrise d'ouvrage : SPL Val-de-Seine Aménagement. Démolition : Eiffage avec Sarens. Conception du nouveau pont : Ingérop avec AEI Architecture et RCR Architectes. Montant du nouvel ouvrage : 25 millions d'euros HT payés par Boulogne-Billancourt et la SPL. ■



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° 947 « Travaux souterrains »
- TRAVAUX n° 948 « Ouvrages d'art »
- TRAVAUX n° 949 « Spécial : Gares et stations 2 »



**Bertrand COSSON**

Tél. 01 42 21 89 04

[b.cosson@rive-media.fr](mailto:b.cosson@rive-media.fr)

## INFRASTRUCTURES : 9 INNOVATIONS AIDÉES PAR LA FEREC



© CONSEIL DÉPARTEMENTAL HAUTE-GARONNE

Un smartphone, fixé sur le toit d'un véhicule du Conseil départemental de Haute-Garonne, filme la route. Les données servent à prédire l'entretien.

Neuf innovations numériques ont été distinguées et recevront une aide financière de la Fondation d'entreprise recherche collective pour la construction et les infrastructures (Ferec). Deux projets concernent les réseaux enterrés. Avus vise à prévenir les mauvaises surprises lors des travaux près de canalisations enterrées, en réunissant sur



© MT

Deux innovations portent sur la détection des réseaux enterrés. Ici, réseau de vapeur en attente de travaux.

une carte 3D les informations de plusieurs sources. Il est porté par Sébastien Magat (Eurovia). Il comprend une application sur téléphone portable avec laquelle télécharger une vue du sous-sol en lignes 3D avec vidéo superposée et entrer de nouvelles données, le tout raccordé à un système d'informations géographiques.

La 3D est aussi inhérente à la proposition menée par Jean-Noël Gaudin (Cerema). Loca 3D est une chaîne d'instrumentation basée sur un radar à saut de fréquence (RSF) multi-antennes avec un switch électronique, qui détecte et localise les réseaux.

Un radar RSF équipe également le dispositif de caractérisation de l'interface entre 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> couches de chaussée, de Xavier Derobert (Ifsttar). La CINC-RSF repère les décollements et estime l'épaisseur de la 1<sup>re</sup> couche sans carottage.

### → Durée de vie résiduelle d'une chaussée

Le Conseil départemental de Haute-Garonne anticipe les besoins en entretien de ses routes en les filmant grâce à un téléphone intelligent fixé sur un véhicule. L'idée vient de la Poste. Les données ainsi recueillies - en octobre 3900 km de RD avaient été filmés - sont analysées par un prestataire (Diagway) qui en déduit un programme de travaux. Projet porté par Erick Constensou du département. Diagway a également été sélectionné par la Ferec pour le Diagway Smart de Tien Sy Nguyen capable de

fournir des images de haute qualité de l'état des routes sur smartphone. Le capteur sans fil SWS de Kamal Berada (Eurovia) donne la durée de vie résiduelle d'une structure de chaussée. Il est relié à une carte électronique et une interface web.

### → Plus d'interopérabilité des données Bim

Le Bim s'invite à travers deux innovations. Tedinfra de Yann Lefeuvre (Colas) entend améliorer l'interopérabilité des données d'auscultation de chaussée (formats et protocoles de transfert).

Le Biobim de Sylvain Moulherat (Terroiko) incorpore la séquence Éviter Réduire Compenser qui prend en compte les impacts sur l'environnement d'une infrastructure, dans la démarche Bim. Enfin, Morphopredict de Mikael Carmona (Morphosense) avec le Cerema veut valider un nouvel indicateur de corrosion et ses apports par rapport à ce qui existe déjà.

### → 290 000 euros dédiés

La Ferec dédie 290 000 euros aux lauréats de son 1<sup>er</sup> appel à projets. La fondation a été créée en mars dernier par SNCF Réseau, Eiffage Infrastructures, Vinci Construction, Eurovia et Colas. Elle met en commun des moyens pour une recherche collaborative française et son transfert en construction et infrastructures. Les lauréats sont amenés à diffuser leurs connaissances.

[www.fondation-ferec.fr](http://www.fondation-ferec.fr) ■

## PPP POUR LE TRAMWAY DE LIÈGE

L'Opérateur de transport de Wallonie (Belgique) a finalement attribué le partenariat public privé du futur tramway de Liège au groupement mené par Colas Projects. La signature du contrat de trente-et-un ans est attendue pour la fin de l'année.

Le projet Tram'Ardent est entre les mains de plusieurs entités de Colas, et de Construcciones y Auxiliari de Ferrocarriles (rames) et de Dif (financement).

L'installation du tramway de 11,7 km avec 21 stations comprend l'aménagement de 250 000 m<sup>2</sup> d'espaces extérieurs.

Livraison de la première ligne au 2<sup>d</sup> semestre de 2022.

## CINQ ÉOLIENNES DE 8,3 MW EN MER DU NORD

EDF Renewables a installé cinq éoliennes MHI Vestas (joint-venture) dans le parc de tests de Blyth, au nord de Newcastle (Angleterre), en mer du Nord. À terme, il s'agit d'implanter 15 turbines de ce type.

La puissance de chaque machine - 8,3 MW - et leur hauteur - 195 m - ont nécessité une étude du terrain. Leurs fondations gravitaires en béton sont conduites en flottant jusqu'au périmètre de la ferme puis sont remplies d'eau de mer pour descendre jusqu'au fond.



© EDF RENEWABLES

Éoliennes de 195 m de haut.

### GRANULATS RECYCLÉS DANS DES VOIES DE TRAM

Une partie des terres et gravats excavés sur l'emplacement du tramway d'Avignon (Vaucluse) est recyclée en granulats pour resservir sur le chantier. La Communauté d'agglomération de la ville améliore ainsi le bilan carbone de l'opération.

Les déblais - 110 000 tonnes - sont réceptionnés dans le centre Lafarge Holcim situé à 3 km du chantier, à Rognonas (Bouches-du-Rhône).

Les camions repartent de ce site avec des granulats issus du recyclage, soit un total de 33 000 tonnes dans ce cas. La partie non valorisable des terres va combler l'ancienne carrière de Tavel (Gard) à 19 km.

→ **Mise en service : été 2019**

Les matériaux recyclés viennent stabiliser le sol et former les sous-couches des voies du tramway sur 2,6 km de la ligne A.

Le lot terrassement des lignes A d'une longueur totale de 5,2 km et B de 3,2 km en construction, a été confié au groupement Colas/Braja. La pose des rails se termine en 2018. La mise en service est prévue pour l'été 2019.



© LAFARGE HOLCIM

À Avignon (Vaucluse), un tiers des terres excavées pour le tram revient sous forme de granulats.

### ENGINS DE DRAGAGE, NOUVELLE GÉNÉRATION



© SÉBASTIEN TAVIOT/GPM GUYANE

Le Frégate, remorqueur-dragueur, décolle les sédiments pour sécuriser l'accès au Grand Port Maritime de Guyane.

Depuis juillet, le Grand port maritime de Guyane propose un service de dragage sur remorqueur. Le Frégate travaille au port de Dégrad-des-cannes sur le fleuve Mahury au sud de Cayenne, chef-lieu du département et de la région d'Outre-mer, et au port de Kourou, sur le fleuve Kourou, à 62 km au nord de Cayenne.

Les 211 escales dans le GPM ne suffisaient pas pour occuper un remorqueur toute l'année. D'où l'idée de le coupler à un autre usage.

#### → Sédiments perturbateurs de la navigation

« L'Amazone charrie des sédiments qui vont se déposer le long de la Côte des Guyanes par banc de 10-60 km sur 20-30 km de large et 5 m d'épaisseur, a précisé Sébastien Taviot, responsable du pôle technique du GPM à Port du Futur (cf. page événement des actualités). L'eau est fortement chargée en sédiments (1,27 de densité de navigation). Ils ne sont pas pollués mais ils génèrent des problèmes en cascade. À cela s'ajoutent des courants latéraux pouvant aller jusqu'à 5 m/s. Des navires s'échouent tous les 1 an et demi à deux ans. Pour sécuriser l'accès au GPM, nous avons choisi un système Airset qui envoie des jets d'eau vers le fond pour décoller la vase. Le courant emporte les sédiments plus loin. Afin de ne pas encombrer le remorqueur, nous avons réduit

le volume des pompes et des compresseurs. »

Le bateau de De Boer Remorquage mesure 30 m de long sur 15 de large et drague à 10,50 m de profondeur.

#### → Trophées Port du futur

Signalons que le GPM de Guyane a aussi remporté un trophée Port du futur en 2018 pour sa démarche d'amélioration de la sécurité du personnel selon le référentiel Manuel d'amélioration de la sécurité en entreprise, instauré en 2013. Le robot dévaseur d'Environmental Sediment Treatment (EST) a également remporté un trophée Port du futur en 2018. L'engin est conçu pour draguer souvent

de petites quantités - 2 000 m<sup>3</sup> par an sur un site - au lieu de s'attaquer à 26 000 m<sup>3</sup> après treize ans, par exemple. Les petits volumes peuvent être laissés à sécher sur place, d'où un transport de produits secs, moins lourds.

#### → Modèle industriel d'ici à fin 2018

Ses concepteurs étudient son alimentation par capteurs solaires photovoltaïques. Le prototype va déboucher sur un modèle industriel d'ici à fin 2018. Il pourra fonctionner en mer.

Le robot dévaseur est un service d'EST qui propose également une machine de tri et d'assèchement des sédiments et une de conditionnement. ■



© ENVIRONMENTAL SEDIMENT TREATMENT

Prototype du robot dévaseur conçu pour draguer de petites quantités de sédiments, souvent.





**PRO BTP,  
LE MEILLEUR DE LA  
PROTECTION SOCIALE**

SANTÉ

PRÉVOYANCE

RETRAITE

ÉPARGNE

ASSURANCES

ACTION SOCIALE

VACANCES

 **PRO BTP**  
GROUPE

## AVALOIR FACILE À NETTOYER

L'avaloir Strasiphon est équipé d'un seau amovible qui récupère feuilles et boues. Son fond arrondi facilite l'aspiration des matières tombées au fond malgré le seau.

Cet équipement, fermé par une plaque de fonte, mesure près de 75 cm de haut. La hauteur sous fil d'eau dépasse le mètre. Il est en béton préfabriqué dont la composition varie avec la classe d'exposition.



Un seau récupère feuilles et boues.

## CAPTURE RAPIDE DE DONNÉES TERRAIN

Le Leica RTC360 frappe par sa rapidité d'action. Ce laser-scanner capte 2 millions de points par seconde, produit un nuage de points en 3D et colorisé en moins de deux minutes, et fournit un scan 360 en moins d'une minute.

Il s'exécute avec une précision à quelques millimètres près. Il convient pour les relevés de 0,5 à 130 m de portée.

Grâce à 5 caméras, l'opérateur peut suivre le mouvement du scanner en temps réel sur une tablette standard.

L'équipement de terrain, logeable dans un sac à dos et pesant 5,4 kg, s'accompagne d'un logiciel qui pré-assemble les scans, d'où une vérification possible sur site, et un traitement des données au bureau.



Avec pré-assemblage des scans sur site.

## ONZE ÉOLIENNES À L'ESSAI



Massif de fondation de 600 m<sup>3</sup> de béton.

Onze éoliennes prototypes Enercon sont en cours d'implantation à Pougny (Nièvre). De grande hauteur, 190 m pâles comprises, elles doivent être solidement ancrées dans le sol.

Le chantier a débuté en octobre 2016. En octobre 2018, deux machines étaient déjà debout. Les sols ont dû être renforcés par du béton après découverte de

cavités lors des études géotechniques. Chaque massif de fondation d'éolienne représente 600 m<sup>3</sup> de béton.

Les mâts préfabriqués de 138 m, dans le même matériau, sont précontraints verticalement par des câbles en acier reliés au massif par des tirants d'ancrage afin d'accroître leur résistance. Les bétons utilisés sur place sont consti-

tués de ciment Calcia et d'adjuvants Cemex.

### → Nouveaux générateurs

Enercon, fabricant allemand d'éoliennes, va ainsi tester ses modèles E103, équipés de nouveaux générateurs et issus de dix ans d'études, avant de les déployer plus largement. La ferme de Pougny représente 25 MW au total. ■

## ESPACE MI-SOUTERRAIN

L'École Polytech Marseille a remporté le concours "La ville du futur sans dessus... dessous", ouvert aux élèves d'IUT génie civil et organisé par le Syndicat national du béton prêt à l'emploi et Cimbéton.

Les étudiants de Marseille ont créé Subterra, un dispositif de partage de l'espace entre surface et sous-sol. Ils consacrent l'espace du dehors au logement, aux loisirs et à la nature, et l'espace souterrain déjà occupé par les transports en commun, aux bureaux, commerces, à la logistique.

Ils ont imaginé une structure octogonale qui vient se greffer sur le réseau de transports.

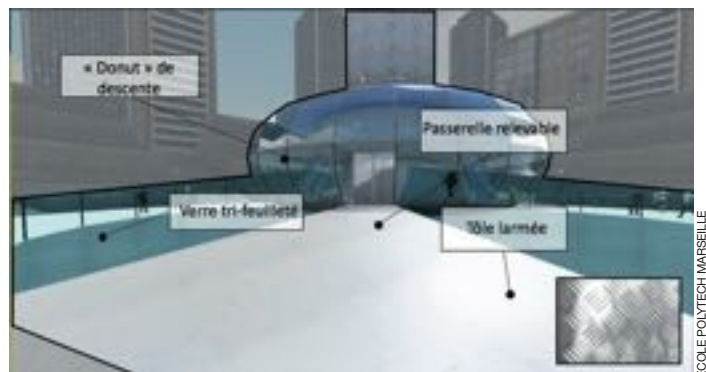
### → Murs d'images

À chaque angle, un ascenseur géant, relié aux autres par des galeries principales et secondaires.

Ils préconisent un béton combiné à de la fibre optique pour transformer les parois en murs d'images, limitant la claustrophobie.

Les espaces sont toutefois éclairés par des puits de lumière naturelle.

La structure est allégée grâce à du béton fibré. ■



Ascenseur transparent géant, à chaque coin de la structure Subterra, octogonale.



## CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

### Nos missions :

- assurer le service des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- procéder au remboursement des indemnités de chômage-intempéries versées par les employeurs de la Profession.

La CNETP regroupe plus de **7 500 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à près de **260 000 salariés connus**.

### Nos coordonnées :

- **Par courrier :**  
31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09
- **Par Internet :** [www.cnetp.fr](http://www.cnetp.fr)
- **Par mail :** sur [www.cnetp.fr](http://www.cnetp.fr), lien *écrire un e-mail*
- **Par téléphone :**
  - pour les entreprises : 01.70.38.07.70
  - pour les salariés : 01.70.38.07.77
- **Serveur vocal (24h/24) :** 01.70.38.09.00



## CARACTÉRISATION DE L'ÉROSION INTERNE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES : MÉTHODES ET ESSAIS

Les partenaires du projet national Erinoh (Irex) sur l'érosion interne dans les ouvrages hydrauliques ont produit deux ouvrages édités par les Presses nationales des ponts et chaussées, et distribués par Eyrolles.

Le volume 1, paru en 2017, concerne les méthodes de caractérisation expérimentales de l'érosion interne (17

appareillages). Le livre développe en 236 pages les domaines suivants : caractérisation des sols dispersifs, filtration des matériaux granulaires, caractérisation de la suffusion, de l'érosion de contact, de l'érosion régressive, de l'érosion de conduit et celle de surface. Puis il compare les essais. Le 2<sup>e</sup> volume, 408 pages, est sorti début

2018. Il traite les méthodes de détection de l'érosion interne pendant les projets Agence nationale de la recherche et Erinoh (33 fiches).

Il se concentre sur les ouvrages hydrauliques à long linéaire et en service (diagnostic).

[www.presses-des-ponts.fr](http://www.presses-des-ponts.fr) ■



## QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES AUX ABORDS D'UNE ICPE

La direction générale de la prévention des risques (ministère de la Transition écologique et solidaire), ayant constaté "la qualité inégale" des rapports de suivi et de bilan des installations classées pour l'environnement (ICPE) et des sites pollués, en ce qui concerne les eaux souterraines, publie un guide spécifique.

Le document de 71 pages, paru début 2018, décrit les mesures à prendre pour assurer la surveillance de la qualité des eaux souterraines tout au long de la vie d'une ICPE, y compris après cessation de l'activité, le suivi post-accident ou la gestion d'une pollution historique. Le guide s'inspire des connaissances

actuelles et est amené à évoluer. Ce qui concerne les installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND) fera l'objet d'une autre publication.

[www.installationsclassées.developpement-durable.gouv.fr/Outils-de-gestion.html](http://www.installationsclassées.developpement-durable.gouv.fr/Outils-de-gestion.html) ■



PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

GARES & STATIONS

929

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

930

TRAVAUX SOUTERRAINS

931

OUVRAGES D'ART

+ SUPPLÉMENT "SPÉCIAL 100 ANS" OFFERT

932

SOLS ET FONDATIONS

933

SPÉCIAL BIM 2

934

VILLE ET PATRIMOINE

935

INTERNATIONAL

936

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

937

SPÉCIAL GRAND PARIS

938

TRAVAUX SOUTERRAINS

939

OUVRAGES D'ART

940

SPÉCIAL INNOVATION

941

SOLS ET FONDATIONS

942

ÉNERGIE

943

\*Offre valable jusqu'au 31/12/18

### BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

À renvoyer à : Com et Com - Service Abonnements TRAVAUX - Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot - 92350 Le Plessis-Robinson  
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22 - Fax : +33 (0)1 40 94 22 32 - Email : revue-travaux@cometcom.fr

**JE COMMANDE LES NUMÉROS SUIVANTS** (cochez les cases de votre choix en indiquant le nombre d'exemplaires) :

- |                                |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 929 x | <input type="checkbox"/> 934 x | <input type="checkbox"/> 939 x |
| <input type="checkbox"/> 930 x | <input type="checkbox"/> 935 x | <input type="checkbox"/> 940 x |
| <input type="checkbox"/> 931 x | <input type="checkbox"/> 936 x | <input type="checkbox"/> 941 x |
| <input type="checkbox"/> 932 x | <input type="checkbox"/> 937 x | <input type="checkbox"/> 942 x |
| <input type="checkbox"/> 933 x | <input type="checkbox"/> 938 x | <input type="checkbox"/> 943 x |

Soit un montant total de :  
\_\_\_\_\_ numéros x 15 € = \_\_\_\_\_ €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 15 € à 13 € l'unité)

\*Offre valable jusqu'au 31/12/18 et hors frais portaux (exemple pour un numéro : 5,00€ d'envoi France, 10,00€ d'envoi Europe et 12,50€ d'envoi étranger hors Europe). Conformément à la Loi « informatique et des libertés » du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

**JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :**

Nom \_\_\_\_\_ Prénom \_\_\_\_\_

Entreprise \_\_\_\_\_ Fonction \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Code postal [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] Ville \_\_\_\_\_

Tél. : \_\_\_\_\_ Fax : \_\_\_\_\_

Email : \_\_\_\_\_  Merci de ne pas communiquer mon adresse mail

Je joins mon règlement d'un montant de \_\_\_\_\_ € TTC par Chèque à l'ordre de COM'1 ÉVIDENCE

**ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de COM'1 ÉVIDENCE**

- Je réglerai à réception de la facture  
 Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire

## AGENDA

### ÉVÉNEMENTS

#### • 4 AU 6 DÉCEMBRE

##### Semaine de la chaleur renouvelable

Lieu : Paris (Forum des Halles)

[www.clubinternational.ademe.fr](http://www.clubinternational.ademe.fr)

#### • 6 DÉCEMBRE

##### Fondations d'éoliennes offshore (CFMS)

Lieu : Champs-sur-Marne

(Seine-et-Marne)

[www.geotechnique.org](http://www.geotechnique.org)

#### • 11 DÉCEMBRE

##### Energy Class Factory (performance énergétique et hydrique, usines et infrastructures)

Lieu : Lyon (Cité internationale)

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

#### • 6 ET 7 FÉVRIER

##### Colloque annuel du Syndicat des énergies renouvelables

Lieu : Paris (Unesco)

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

#### • 11 AU 13 MARS

##### 12<sup>e</sup> rencontres géosynthétiques

Lieu : Nancy

[www.rencontresgeosynthetiques.org](http://www.rencontresgeosynthetiques.org)

#### • 12 AU 14 MARS

##### JEC World (composites)

Lieu : Paris Nord-Villepinte

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

#### • 18 AU 20 MARS

##### Vulnérabilité et résilience des réseaux de transport

Lieu : Montrouge (Hauts-de-Seine)

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

#### • 20 ET 21 MARS

##### Génie civil au cœur des mutations techniques et numériques

Lieu : Cachan (Val-de-Marne)

[www.afgc.asso.fr](http://www.afgc.asso.fr)

#### • 20 ET 21 MARS

##### Digues 2019 : systèmes et ouvrages de protection contre les inondations marines et fluviales

Lieu : Aix-en-Provence

(Bouches-du-Rhône)

[www.cfg.asso.fr](http://www.cfg.asso.fr)

#### • 27 AU 29 MARS

##### Symposium labse : pour un environnement construit résilient (infrastructures)

Lieu : Guimarães

(Nord-Ouest Portugal)

[www.iabse.org](http://www.iabse.org)

### FORMATIONS

#### • 4 AU 7 DÉCEMBRE

##### Piloter l'exécution d'un chantier d'ouvrage souterrain

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 5 ET 6 DÉCEMBRE

##### Appliquer la conception parasismique au dimensionnement des ouvrages géotechniques

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 5 ET 6 DÉCEMBRE

##### Eurocode 8 toutes filières : choix stratégique des méthodes et modèles appropriés

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 10 ET 11 DÉCEMBRE

##### Codes Afcen pour le génie civil en nucléaire : construction

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 12 AU 14 DÉCEMBRE

##### Voirie urbaine : méthodes et outils pour une approche globale de l'aménagement

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

#### • 18 AU 20 DÉCEMBRE

##### Digues et berges fluviales : conception, réhabilitation

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

### NOMINATIONS

#### BANQUE DES TERRITOIRES :

Antoine Troesch a été nommé directeur de la banque qui finance des infrastructures durables, émanant de la Caisse des dépôts et consignations et déclinée par région.

#### CANAL SEINE-NORD-EUROPE :

Jérôme Dezobry est le nouveau président du directoire de la Société du Canal-Seine-Nord-Europe.

#### CERIB :

Yann Rouillé dirige le bureau de normalisation du béton au Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton. Il succède à Emmanuel Wagner.

#### CIMBÉTON :

Bruno Pillon remplace Grégoire Douillet à la présidence du Centre

**BALINEAU**

FONDATEURS SPÉCIALES ET TRAVAUX NAUTIQUES

- Travaux en sites fluvial et maritime
- Dragage
- Pieux battus / forés
- Palplanches
- Amélioration des sols
  - Drains verticaux
  - Inclusions rigides
  - Compactage par vibrations

**Siège social et bureaux :**  
 3 avenue Paul Langevin  
 Enora Park - CS 30039  
 33615 PESSAC cedex  
 Tél. : +33 (0) 5 57 89 16 78  
 Fax : +33 (0) 5 56 07 34 78  
[balineau@balineau.fr](mailto:balineau@balineau.fr)

**Agence Antilles / Guyane :**  
 Rue Nobel - Z.I. de Jarry  
 BP 2183  
 97195 JARRY cedex  
 Tél. : +590 (0) 590 32 59 10  
 Fax : +590 (0) 590 26 89 44  
[Balineau.antilles@balineau.fr](mailto:Balineau.antilles@balineau.fr)

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

d'information sur le ciment et ses applications.

#### COLAS :

Emmanuel Rollin, directeur juridique et conformité, prend la succession d'Alain Clotte à ce poste.

#### ÉCONOMIE ET FINANCES :

Pascal Faure, directeur général des entreprises (ministère de l'Économie et des Finances), est remplacé depuis août par Thomas Courbe qui est aussi commissaire à l'information stratégique et à la sécurité économique.

#### ENGIE :

Suite à la réorganisation de ses activités innovation, le groupe a nommé Shankar Krishnamoorthy, directeur général adjoint chargé de la recherche, de la technologie et de l'innovation, Michael Webber, directeur scientifique et technologique (janvier 2019) et Thierry Lepercq, directeur exécutif de Terrawatt.

#### SUEZ :

Mathilde Rodié dirige la communication financière du groupe suite à la nomination

de Sophie Lombard à la direction du cabinet du directeur général.

#### TEM PARTNERS :

Thierry Dupays devient directeur de Tem Partners, filiale ingénierie du groupe Arching (ingénierie et architecture), en remplacement de Xavier Glardon.

#### TRANSITION ÉCOLOGIQUE :

Sophie-Dorothee Duron conseillère François de Rugy, ministre de la Transition écologique et solidaire, sur la biodiversité, l'eau et la mer.

#### UNICEM :

David Henry succède à Stéphane Durand-Guyomard à la présidence bretonne de l'Union des industries des carrières et matériaux de construction. Le collège béton prêt à l'emploi de cette section de l'Unicem est désormais conduit par Olivier Buecher à la suite de Bernard Gusparo.

#### VICAT :

Hugues Chomel est nommé directeur financier à la place de Jean-Pierre Souchet, directeur général adjoint qui devient conseiller du PDG du groupe.

# ASAGAO DE L'EXPERTISE MARITIME ET FLUVIALE À LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION

Une catastrophe écologique en mer, la crue d'une rivière qui provoque des inondations et met à mal les bateaux qui l'occupent, une péniche qui heurte un quai portuaire, un propriétaire devant obtenir le certificat de conformité de son bateau : quel point commun entre ces événements ? : l'eau ou, plus précisément, le domaine maritime et fluvial et les problèmes qui y surviennent.

Un interlocuteur unique peut y faire face, aussi éloignés les uns des autres qu'ils puissent paraître : Asagao, société d'expertise maritime et fluvial, membre du CEEMF, spécialiste de la lutte contre la pollution par hydrocarbures en mer.

**Jean-Pierre Mortreux, son directeur et fondateur, nous explique le pourquoi et le comment.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1

## Qu'en est-il du Collège Européen des Experts Maritimes et Fluviaux ?

Le Collège Européen des Experts Maritimes et Fluviaux (CEEMF) a été fondé en 1969 afin de regrouper des techniciens du domaine maritime et fluvial dans un esprit d'indépendance et de compétitivité.

Il s'agit, à l'origine, d'une compagnie d'experts de justice, adoubée à la Cour d'appel d'Aix-en-Provence, qui regroupe différents profils d'experts de justice spécialisés dans l'ensemble des problèmes liés au domaine maritime et fluvial : travaux maritimes, portuaires et fluviaux, génie maritime, entretien et inspection de navires, travaux subaquatiques et offshore, plaisance... Aujourd'hui les experts membres du CEEMF sont présents sur les listes d'experts de nombreuses

cours d'appel et dans le secteur privé. Les membres du collège interviennent, entre autres, en expertises pré-transactionnelles, expertises de pré-assurance, expertises en valeur vénale, expertises techniques, suivis de chantier, sondages de coques, gestion de sinistres, conciliation, expertises de conformité... Le Collège Européen des Experts Maritimes et Fluviaux est pluridisciplinaire au regard des diverses spécialités de ces membres.

Il réunit des experts capables de répondre aux nombreuses demandes de donneurs d'ordres publics ou privés, pour des missions d'étude, de conseil, de contrôle, d'assistance technique, et d'expertise

Le CEEMF est ainsi en mesure d'orienter ses interlocuteurs vers les techniciens les mieux à même de répondre aux spécificités de chaque affaire.

FIGURE 1 © MARC MONTAGNON - FIGURES 2 & 3 © ASAGAO



2



3

## JEAN-PIERRE MORTREUX : PARCOURS

Jean-Pierre Mortreux est diplômé de l'École Nationale de la Marine Marchande (ENMM) du Havre. Il est officier de 1<sup>re</sup> classe (illimité) de la marine marchande.

Il passe alors une quinzaine d'années à naviguer partout dans le monde sur des navires de commerce de différents types et différents tonnages et pour les applications multiples qui sont celles de la marine marchande : cargos, pétroliers, gaziers, minéraliers, bananiers, passagers...

Dans cette période, il réalise son service militaire comme EOR de la Marine Nationale et participe à la mise en place du centre de surveillance de la navigation maritime " Ouessant Contrôle " après plusieurs pollutions majeures des côtes françaises comme le 16 mars 1978 lors du naufrage de l'Amoco Cadiz.

À l'issue de ces premières expériences, il devient responsable des opérations maritimes pour la CGM (Compagnie Générale Maritime) essentiellement sur le service du Golfe du Mexique et du sud-est des États-Unis puis chef de ligne dans la Mer Baltique (1974-1992).

Entre 1992 et 1994, il rejoint une société internationale de services qui cèdera son activité. Il rejoint alors la Chambre de Commerce et d'Industrie de Nice - Côte d'Azur (1995 - 2001), avec notamment pour mission l'exploitation et l'aménagement du Vieux Port de Cannes et la réalisation de son extension avec le service des grands travaux de la CCI et, à l'époque, les services de l'État. Projet qu'il complètera notamment aux niveaux des infrastructures d'accueil des navires de croisières et des liaisons maritimes locales.

Il dirige ensuite une PME internationale dans le secteur de la distribution et développe sa propre activité pour créer, en 2005, Asagao en tant que cabinet de conseils et d'expertises dans les domaines maritime, portuaire et fluvial. Il ajoutera par la suite une activité de bureau de contrôle technique et à la sécurité de navires fluviaux de moins de 150 mètres et moins de 150 passagers pour lesquels il délivre notamment les attestations de conformité pour l'attribution ou le renouvellement des titres de navigation en parallèle à ses interventions spécialisées dans les navires de travail et de dépollution en mer.

Jean-Pierre Mortreux est expert maritime et fluvial recommandé du CESAM<sup>(2)</sup> et vice-président du CEEMF. Son parcours est jonché de certifications comme Cofrend pour les contrôles de coque, Cofrac pour sa qualité d'ingénieur professionnel en génie civil, IMO niveau 2 pour la dépollution.

Au sein de Asagao et pour son développement, il s'appuie sur deux collaborateurs : Naoko Ishidate et Jean-Hugues Mazurek, ainsi qu'un réseau de partenaires et de spécialistes.

Naoko Ishidate est une ancienne commissaire de bord d'un navire de passagers de la filiale de croisière de la compagnie japonaise NYK (Nippon Yusen Kaisha). Au sein d'Asagao, elle est responsable des projets sur le marché de la lutte contre la pollution et des questions d'expertises

Jean-Hugues Mazurek est spécialisé dans le nautisme. Il est en charge également des aspects de surveillance et d'entretien de l'ensemble des composants mécaniques à bord d'un navire. Au sein d'Asagao, il a la responsabilité de conseiller technique.

Asagao possède également des centres de représentation et d'intervention dans plusieurs ports français et pays francophones.

### Comment peut-on définir un expert judiciaire ?

« L'expert doit observer une indépendance absolue, ne cédant à aucune pression ou influence de quelque nature qu'elle soit ».

Un expert judiciaire est un professionnel spécialisé dans une technique donnée qui met sa compétence au service de la justice, le Juge, lorsqu'elle le sollicite. Ces experts peuvent être inscrits sur les listes dressées par les Cours d'appel, la Cour de cassation, les Tribunaux administratifs.

Les titres : "expert inscrit sur la liste près la Cour d'appel de...", "expert agréé par la Cour de cassation", "expert inscrit près le Tribunal Administratif" sont expressément protégés. Au-delà du serment prêté, l'expert adhérent à une compagnie s'est engagé à respecter les règles de déontologie établies par le Conseil National

1- Jean-Pierre Mortreux, directeur d'Asagao, expert maritime et fluvial.

2- Déploiement d'un barrage offshore Lamor dans la rade de Brest.

3- Un navire dans le port de Brest, équipé de matériels anti-pollution.

4- Déploiement d'un godet collecteur dans l'Arctique.

5- La plate-forme Horizon en feu dans le Golfe du Mexique en 2010.

des Experts de Justice (CNEJ) reconnu d'utilité publique. L'expertise judiciaire peut être ordonnée en matières civile, pénale, administrative.

### À qui le CEEMF s'adresse-t-il ?

Aujourd'hui, ce collège européen s'adresse à des personnes qui souhaitent intervenir en tant qu'experts indépendants.

Nous les accompagnons à plusieurs niveaux. Quelle que soit votre expérience et votre savoir-faire, il est nécessaire aujourd'hui d'être reconnu par une certification extérieure et d'être couvert par une assurance, car les enjeux concernent des sommes très importantes, à travers différentes actions qui leur permettent d'être reconnus par les acteurs et les autorités concernées.

Chacun dans son domaine exerce son activité en bonne intelligence avec les organismes référents. Par exemple, dans le domaine fluvial, avec la direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM) qui prépare et met en œuvre la politique nationale des transports sous l'égide du ministère de l'Écologie.

Le CEEMF compte aujourd'hui 70 membres, un grand nombre d'experts auprès de Cours d'appel, principalement en France et dans les DOM TOM et aussi en Afrique francophone.

Il est reconnu auprès de l'Union des Compagnies d'Experts près la Cour d'appel d'Aix-en-Provence (UCECAAP) et est également membre de l'UP13, du GMIF, du CMF, de l'UMF, de la FEMAS et du SNIPF, plus précisément de l'IPF<sup>(1)</sup>, de la Cofrend, du Cluster Maritime.

L'appartenance au SNIPF est importante car elle permet, au travers d'une procédure Cofrac, d'obtenir une reconnaissance de la VAE. ▶

© LAMOR

4



© US COAST GUARD

5





6



7

© MARC MONTAGNON

La Validation des Acquis de l'Expérience (VAE) est une mesure qui permet à toute personne, quels que soient son âge, son niveau d'études ou son statut, de faire valider les acquis de son expérience pour obtenir une certification professionnelle.

Trois ans d'expérience en rapport avec le contenu de la certification visée sont nécessaires pour obtenir la certification VAE qui est renouvelable tous les trois ans.

À noter qu'un tiers des membres du CEEMF sont certifiés VAE.

La confiance de ses membres et partenaires, acquise de longue date, provient particulièrement du constat de la qualité et de la neutralité des interventions du CEEMF en étant en permanence à leur écoute, en répondant à leurs besoins explicites et implicites, en les conseillant et en les accompagnant dans leur environnement professionnel et domaine d'activité sur l'ensemble des volets de l'activité, Assurances RC Pro, Qualité, Formation, diverses représentations...

Parallèlement à ces actions, le collège joue un rôle d'organisme de formation continue avec des cycles consacrés

pour l'essentiel à la réglementation technique et à la sécurité dans le domaine maritime et fluvial.

Le Collège a résolument orienté la formation qu'il organise sur le plan tech-

nique à l'intention de ses membres, mais aussi des experts maritimes qui souhaiteraient y participer dans le but de se perfectionner techniquement dans leurs domaines d'interventions.

**6- Naoko Ishidate, responsable des opérations "anti-pollution d'Asagao".**

**7- Jean-Hugues Mazurek, conseiller technique d'Asagao.**

**8- Bateau de pêche converti occasionnellement en bateau de dépollution.**

**9- Flottille de bateaux de pêche équipés de système de dépollution Lamor en Louisiane.**

**10- Fred Larsen, président de Lamor Corporation inspecte les groupes de puissance et les pompes prêts à être installés à Venice, en Louisiane.**

**11- Détail des dommages provoqués sur le quai de Port Victor.**

## LAMOR CORPORATION EN BREF

**La société Lamor (Larsen Marine Oil Recovery) Corporation propose des solutions optimales pour traiter et récupérer les déversements d'hydrocarbures.**

**Avec des bureaux, du personnel et des équipements stratégiquement situés autour du monde, Lamor est à même d'intervenir rapidement et efficacement sur les lieux d'incidents, afin de servir au mieux les besoins de l'État, des sociétés publiques et privées en général, et de limiter l'impact environnemental des pollutions et de préserver les écosystèmes.**

**La société développe, construit et fournit les équipements et les services de récupération adaptés aux déversements d'hydrocarbures selon la meilleure technologie disponible. Son savoir-faire comprend les études et mises en place des plans d'urgence, les évaluations des risques, la maintenance et l'entretien des équipements, associés à la formation des personnes.**

**Le siège social de Lamor se trouve en Finlande, avec des filiales contrôlées à 100% situées aux USA, en Chine et au Royaume-Uni et des joint-ventures en Russie, aux Émirats Arabes Unis et à Oman. De plus, la société compte des réseaux d'agents et de distributeurs dans plus de 90 pays. Ces 20 dernières années, elle a livré des équipements dans plus de 120 pays.**



© LAMOR

8



© LAMOR

9



## Quelles sont les origines d'Asagao et quels sont les domaines dans lesquels elle intervient ?

Asagao (All Ships And General Agency Organisation) a été créée en 2005 en intervenant d'abord en tant que conseil dans le domaine maritime et fluvial puis en se déployant sur l'expertise et les problèmes de lutte contre la pollution par les hydrocarbures.

Sur les marchés francophones (France, Monaco, Suisse et pays francophones d'Afrique), elle représente le groupe familial finlandais Lamor Corporation, leader mondial de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures en mer. La société Asagao réalise des études, propose des services et assure la réalisation d'interventions aussi bien en mer que dans les ports et dans les rivières en matière de lutte anti-pollution ou de dépollution.

Pour la récupération sur l'eau, notre solution privilégiée est la brosse oléophile qui permet une récupération d'hydrocarbures avec un minimum de quantité d'eau, avec des ratios de l'ordre de 95%. En mer, cette capacité est très importante car l'un des problèmes qui se pose est le stockage des produits récupérés. Avec ses performances, cette brosse n'obère que très partiellement les capacités de stockage. De tels systèmes de récupération à brosse équipent des navires de l'EMSA (European Maritim Safety Agency), de la Marine Nationale, et les équipements mobiles du CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement). Nous sommes en contact avec tous les pétroliers français et étrangers dans le monde auxquels nous fournissons des solutions et des matériels de systèmes intégrés de récupération, notamment

## LE CEEMF : LE VASTE DOMAINE MARITIME ET FLUVIAL

**Le Collège Européen des Experts Maritimes et Fluviaux (CEEMF) fondé en 1969 regroupe des techniciens de chacune des disciplines du vaste domaine maritime et fluvial, dans un esprit d'indépendance, de compétence, et d'objectivité.**

**Le collège, association syndicale professionnelle, est par nature pluridisciplinaire. De la construction navale aux infrastructures en passant par l'environnement, la sécurité et la navigation, l'arrimage et le contrôle des facultés, les travaux sous-marins, le transport et la manutention, la corrosion, ainsi que la plaisance : les membres du collège assurent seuls ou en synergie active avec les confrères compétents les missions d'expertise, de contrôle, de suivi, d'étude ou d'assistance technique à la satisfaction de leurs donneurs d'ordres publics ou privés dans le même esprit que lorsqu'ils sont mandatés par le ministère de la justice dans le cadre judiciaire. Le titre d'expert prend alors sa juste valeur dans l'efficacité, l'objectivité et l'indépendance, conformément à l'engagement sur l'honneur signé par chacun d'entre eux.**

**Les membres du Collège Européen des Experts Maritimes et Fluviaux, outre leurs connaissances théoriques, ont préalablement acquis durant leurs carrières un grand savoir dans leurs spécialités respectives.**

**Le contact établi entre les membres permet des échanges d'ordre technique assurant ainsi à chaque expert le bénéfice du retour d'expérience de ses confrères.**

**Le collège, organisme de formation professionnelle agréé depuis 1999, permet donc à ses membres de maintenir au plus haut leur niveau de connaissances face aux constantes évolutions des techniques employées dans le domaine maritime.**

dans le cadre de campagnes d'intervention auxquelles nous sommes régulièrement associés, y compris en cas d'accident mais également de façon préventive.

### Quelle est l'opération la plus importante de dépollution à laquelle a participé Asagao ?

Par l'intermédiaire de Lamor Corporation, nous disposons d'un réseau mondial ce qui nous permet d'être présent

pratiquement sur toutes les grandes catastrophes : Lamor a été partenaire de BP lors de l'explosion de la plateforme Deepwater Horizon au large de la Nouvelle Orléans dans le golfe du Mexique, provoquant le déversement de 780 millions de litres de pétrole dans l'océan.

Le déversement massif de pétrole en avril 2010 a nécessité un soutien externe immédiat, une expertise, des solutions et du matériel pour aider aux

efforts de confinement et de nettoyage. Lamor Corporation a immédiatement mis en œuvre leurs plans d'action et, dans les 36 heures qui ont suivi, grâce à leur réseau mondial, ont transporté leur arsenal et leur personnel clé sur les lieux.

Dans le prolongement de cette catastrophe, nous avons été chargés par le gouvernement américain de mettre en place le "second rideau" c'est-à-dire d'équiper l'ensemble des flottilles de pêche - en l'occurrence plus de 300 bateaux - en matériels de récupération. À cette occasion, tous nos ateliers de fabrication ont créé des systèmes de confinement, de récupération adaptables aux crevetiers, aux huîtres, aux thoniers...

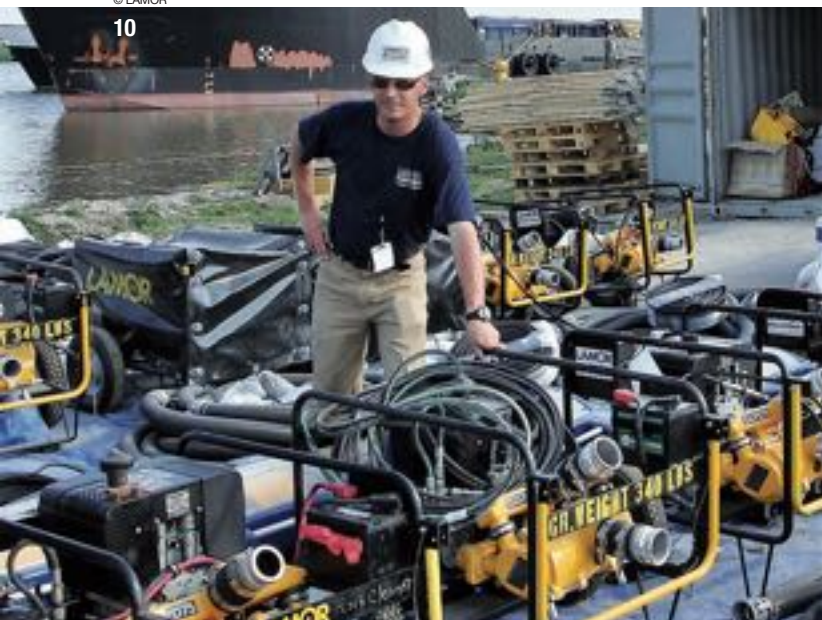
À cet effet, ces bateaux sont équipés d'écrémeurs oléophiles c'est-à-dire de bras flottants constitués d'une succession de sections de barrages accrochés aux tangons afin d'assurer le confinement de la nappe qui est ensuite récupérée par un navire de stockage. Il s'agit là du développement particulier d'une solution d'urgence.

Il nous arrive également de réaliser des missions à titre préventif. Ce fut le cas récemment en Nouvelle Calédonie, dans le cadre du complexe industriel de Koniambo Nickel, sur la côte Ouest de l'île.

Pour Lamor Corporation, Asagao a livré à ce complexe produisant du nickel plusieurs kits d'intervention rapide avec barrages écrémeurs de récupération et l'ensemble de leurs composants fonctionnels - centrale hydraulique, tourets d'enroulage du barrage, gonfleurs et pompes hydrauliques... - afin de parer à toute éventualité en cas de pollution marine. En effet, La Nouvelle Calédonie abrite une biodiversité marine et terrestre remarquable. ▶

© LAMOR

10



© ASAGAO

11



La protection des différents écosystèmes et en particulier ceux du lagon, des mangroves et des cours d'eau fait partie des bases de la politiques environnementale de l'entreprise.

### De quels types de matériels disposez-vous pour intervenir en cas de déversement d'hydrocarbures ?

Quel que soit le scénario ou l'environnement, Asagao fournit la réponse la plus efficace en cas de déversement d'hydrocarbures. Les solutions comprennent une gamme complète de récupérateurs, des pompes, des groupes de puissance, des péniches de débarquement, des bateaux de travail, des équipements de stockage flottant et terrestre et auxiliaires.

Les systèmes de récupération d'huile intégrés aux navires offrent les performances et la sécurité les plus élevées possibles pour les opérations de récupération en cas de déversement d'hydrocarbures en mer.

Le déploiement du système de récupération fait de l'ensemble du navire un "système de traitement des nappes de pétrole".

En plus des systèmes de bord, nous proposons également une gamme d'écumeurs offshore d'une capacité de 50 à 400 m<sup>3</sup>/h, flottants ou montés sur navires et de barrages pétroliers lourds ainsi que leurs équipements : blocs d'alimentation, pompes, barrages de confinement d'huile, tourets - enrrouleurs, réservoirs de stockage d'huile...

### À quels types d'opérations la société Asagao est-elle appelée à participer en tant qu'expert maritime et fluvial ?

Elle participe à la construction et à la mise en service de navires spécialisés

## LES PARTENAIRES DU COLLÈGE

- UCECAAP (Union des Compagnies d'Experts Judiciaires Près la Cour d'appel d'Aix-en-Provence)
- CNCEJ (Compagnie nationale des compagnies d'experts de justice)
- Cluster Maritime Français (CMF)
- SNSM (Société Nationale de Sauvetage en Mer)
- Ministère de la transition écologique et solidaire
- FEMAS (Federation of European Maritime Associations of Surveyors and Consultants)
- IPF (Société Nationale des Ingénieurs Professionnels de France)
- EEEI (Institut Européen de l'expertise et de l'expert)
- Institut de soudure
- COFREND (Confédération Française pour les Essais Non Destructifs)
- UPE13 (Union pour les Entreprises des Bouches du Rhône)
- Port autonome de Marseille
- Union Maritime et Fluviale de Marseille-Fos (UMF)

mais cela peut concerner aussi bien des affaires liées au génie civil d'ouvrages et aux dommages qu'ils ont subis que celles relevant de la vie et de l'état de bateaux.

Quelques exemples mettent en évidence la diversité de nos interventions. Nous avons été appelés pour évaluer les dégâts provoqués sur le quai de Port Victor sur la Seine, à la suite d'un heurt de l'ouvrage par un cimentier lors de sa manœuvre d'amarrage. Dans un tel cas, Asagao s'associe à un sapiteur, en l'occurrence un spécialiste en génie civil pour évaluer les dommages et recommander une technique de réparation.

Sur l'Oise, c'est une péniche qui a heurté le tablier en construction d'un nouveau pont routier à Compiègne. Le choc a surélevé légèrement le tablier métallique en cours de montage ce qui a entraîné une interruption de chantier

et nécessité une évaluation et une estimation des dégâts, heureusement mineurs, consécutifs au choc.

Sur le canal de la Marne au Rhin, dans la Meuse, un bateau de croisière a forcé l'une des portes de l'écluse de Fains Veel. Le choc a provoqué une fuite qui a nécessité une réparation qu'il a fallu chiffrer. La proue de la coque du bateau a enfoncé les passerelles amont en rive gauche et en rive droite et plié les conduites hydrauliques. Le vantail amont gauche a été soulevé, sortant la porte de son logement et nécessitant l'intervention d'une grue et de plongeurs pour sa remise en place.

Lors de la crue de la Seine en juin 2016, la péniche de plaisance Johanna s'est retrouvée à sec dans le jardin d'une propriété privée à Saint-Mammès, au confluent de la Seine et du Loing, près de Fontainebleau. Sa remise en eau a nécessité l'intervention d'une

12- Le nouveau pont sur l'Oise, à Compiègne, heurté par la grue d'une péniche.

13- Les portes de l'écluse de Fains Veel ont été heurtées par un bateau de croisière.

14- Déploiement d'un barrage anti-pollution dans le lagon de Koniambo en Nouvelle Calédonie.

15- Livraison dans un conteneur de kits d'intervention rapide avec barrage écrémeur de récupération à Koniambo.

16- Le lagon de Koniambo, en bordure duquel est implantée la mine de nickel.

17- Déploiement d'un barrage flottant offshore avant son largage en mer.

18- La péniche Johanna s'est retrouvée dans le jardin d'une maison à Saint-Mammès lors des crues de la Seine en juin 2016.

19- Bâtiment de stockage à sec (Dry Dock Storage) de yachts pendant la période hivernale.



12



13



14



15



16



17

FIGURES 14, 15 & 17 © ASAGAO - FIGURE 16 © KONAMBO NICKEL

grue de forte capacité. Là encore, Asagao a chiffré le coût de l'opération et défini les détails de sa réalisation. Pour conclure, permettez-moi d'évoquer une activité dans laquelle intervient également Asagao et qui concerne elle aussi le domaine maritime : celui des équipements portuaires de plaisance à terre.

Pour augmenter les capacités d'accueil des bateaux en hivernage, on crée des structures à terre - des ports à sec (Dry Dock Storage) - de stationnement. Nous intervenons en amont pour les études d'accès des navires, les condi-

## DEVENIR MEMBRE DU CEEMF : QUI ?

**Les Experts maritimes et fluviaux ou affiliés inscrits sur une liste de la cour d'appel, sur une liste nationale, sur une liste de cour administrative d'appel, en formation auprès de l'UCECAAP ou similaire.**

**Tout Expert maritime et/ou fluvial exerçant en libéral et dont la majorité de son chiffre d'affaire est effectué hors des assureurs pour les postulants à l'expertise de justice.**

**Tout expert maritime débutant acceptant la déontologie du CEEMF et dont la volonté est de se faire inscrire sur une liste de cour d'appel de son adresse professionnelle ou de son domicile.**

**Tout membre d'une association de professionnels de l'Expertise maritime et fluviale associée au CEEMF.**

tions générales d'exploitation et toutes les contraintes liées à l'usager. Ce type de port est extrêmement répandu aux États-Unis, Il commence à se développer en France. □

1- **UP 13** (Union Patronale 13), **GMIF** (Groupement Maritime et Industriel de Fos), **Cofrend** (Confédération Française pour les Essais Non Destructifs), **CMF** (Cluster Maritime Français), **UMF** (Union Maritime et Fluviale), **FEMAS** (Federation of European Maritime Associations of Surveyors and Consultants), **SNIPF** (Société Nationale des Ingénieurs Professionnels de France), **IPF** (Ingénieurs Professionnels de France).

2- **CESAM** : Comité d'Études et de Services des Assureurs Maritimes et Transports.

© ASAGAO

18



© IMAG'IN 3D

19





1 © IDEOL/EGN/ANCHERY

IDEOL

# ÉOLIEN OFFSHORE FLOTTANT : LE PARI SUR L'AVENIR

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

AUCUNE ÉOLIENNE EN MER, NI FIXE, NI FLOTTANTE, N'ÉTAIT INSTALLÉE EN FRANCE JUSQU'À CE QU'EN OCTOBRE 2018 LE PROJET PORTÉ PAR IDEOL, CENTRALE NANTES ET BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS, BAPTISÉ FLOATGEN, NOM DONNÉ À UNE ÉOLIENNE FLOTTANTE DE 2 MW INSTALLÉE SUR LE SITE D'ESSAIS EN MER SEM-REV, DÉLIVRE SES PREMIERS KWH AU RÉSEAU ÉLECTRIQUE NATIONAL. QU'IL S'AGISSE DU CONCEPT MÊME DE FONDATION FLOTTANTE EN FORME D'ANNEAU CARRÉ EN BÉTON OU EN ACIER, DU SITE D'ESSAI EN MER, DU TYPE DE BÉTON UTILISÉ POUR LA CONSTRUCTION OU ENCORE DU MATÉRIAU QUI ÉQUIPERA LES LIGNES D'ANCRAGE, L'INNOVATION EST AU CŒUR DE CE PROJET NÉ D'UNE START-UP DÉJÀ RECONNUE PAR LES PROFESSIONNELS DE L'OFFSHORE : IDEOL. UNE RENCONTRE AVEC PAUL DE LA GUÉ-RIVIÈRE, PRÉSIDENT-DIRECTEUR GÉNÉRAL ET CO-FONDATEUR D'IDEOL, NOUS PERMET D'EN SAVOIR PLUS SUR LE SUJET.

Ideol est l'un des trois leaders globaux de l'éolien en mer flottant. Pure player sur le marché des fondations flottantes, elle réalise l'ingénierie et accompagne le développement de projets éoliens en mer flottants depuis 2010. Distinguée dans le cadre de nombreux prix et trophées, elle est reconnue comme l'une des entreprises de la *cleantech* les plus prometteuses de sa génération. Les 60 ingénieurs et

experts d'Ideol sont titulaires de quatre brevets, dont Damping Pool®.

## UN FINANCEMENT " BÉTON "

Ideol est soutenue depuis sa création par un panel assez large d'investisseurs privés internationaux et de fonds publics à l'issue de 6 tours de table financiers :

**2011** : 1<sup>re</sup> levée de fonds de 650 000 € auprès d'investisseurs individuels

## 1- Le projet Floatgen en mer.

comme Dominique Michel et Guy Fleury.

**2013** : 2<sup>e</sup> levée de fonds de 1,6 M€ auprès de fonds d'investissements sectoriels : Demeter et Emergence Innovation.

**2014** : 3<sup>e</sup> levée de fonds de 3,8 M€ par trois nouveaux fonds d'investissement (HPC Capital, Paca Investissement et CPG) et trois actionnaires historiques de la société (Demeter, Emergence Innovation 1 et le groupe IO). La BNP Paribas et la Caisse d'Épargne ont également accordé conjointement un financement bancaire de 1,2 M€.

**2016** : 4<sup>e</sup> levée de fonds de 3 M€ auprès du fonds d'investissement Ter-

tium, fonds de capital développement investi par la CEPAC, AG2R La Mondiale et plus de 20 entrepreneurs de premier plan de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et auprès des actionnaires historiques d'Ideol (PACA investissement, les FCPR Emergence Innovation 1 et Demeter 3 Amorçage, le FIP Entrepreneurs Capital 3).

**2017** : 5<sup>e</sup> levée de fonds de 8 M€ auprès des industriels de renommée mondiale Siem Offshore Contractors et Hitachi Zosen, d'Amundi Private Equity Funds ainsi que certains des actionnaires historiques de la société (Tertium, PACA Investissement et Conseil Plus Gestion).

### TOUR DE TABLE COMPLÉTÉ

De plus, Ideol a annoncé en avril 2018 la levée de 15 millions d'euros lors d'un nouveau tour de table mené auprès du fonds d'investissement Kerogen Capital, un investisseur spécialiste du secteur de l'énergie basé à Hong-Kong et à Londres et de certains actionnaires historiques de la société (Amundi Private Equity, Sofimac Regions et Paca Investissement). Ce dernier investissement positionne Ideol comme l'un des leaders mondiaux en matière d'éolien en mer flottant. Il sécurise les besoins en financement de long-terme d'Ideol.

Créée en 2007, Kerogen Capital est un fond d'investissement indépendant dédié au secteur de l'énergie, avec un portefeuille d'actifs de 2 milliards de dollars, qui a déjà investi dans de nombreux projets Oil & Gas. Ideol représente le premier investissement de Kerogen dans le secteur des énergies renouvelables. Il confirme l'intérêt nouveau de l'offshore pétrolier pour l'offshore éolien en mer.

© MARC MONTAGNON



## PAUL DE LA GUÉRIVIÈRE : PARCOURS

**Cet Ingénieur de l'École des Ponts ParisTech, est titulaire d'un Master of Science. Passionné par la mer et par les énergies renouvelables, il a commencé sa carrière dans la filière "secteur privé" de l'Agence Française de Développement (AFD) au développement et au financement de projets d'énergie renouvelable, un peu partout dans le monde, principalement dans les pays en voie de développement et les pays émergents.**

**Il y passe 8 ans dont notamment trois en Chine pour financer et investir dans des sociétés se développant dans l'activité des énergies nouvelles.**

**De retour de Chine, constatant que le rythme actuel des émissions de CO<sub>2</sub> nous amène droit dans le mur et qu'il existe un besoin immédiat d'action et de solution, il souhaite devenir, plus que l'une des pièces du puzzle, un acteur directement impliqué dans les énergies renouvelables avec la conviction qu'il faut apporter rapidement des solutions pour lutter contre le changement climatique.**

**C'est l'origine de la création d'Ideol en 2010.**

**2- Paul de la Guérvrière, président-directeur général et co-fondateur d'Ideol.**

**3- Les bureaux d'Ideol à La Ciotat : 60 ingénieurs et experts.**

Ceci s'ajoutait à la signature, en juin 2015, d'un contrat d'étude et d'ingénierie avec Hitachi Zosen au Japon qui a permis à Ideol de générer pour la première fois du chiffre d'affaires et de financer ainsi une partie de son développement. Ce premier contrat - suivi d'autres - a confirmé le business model de la société, la pertinence de la

fondation flottante développée par Ideol et sa réussite à l'international.

### LE SOUTIEN DES POUVOIRS PUBLICS

Un financement d'un montant total de 7,3 millions d'euros a été attribué par l'Ademe en 2014 au titre du programme des Investissements d'Avenir dans le cadre de l'Appel à Manifestation d'Intérêt "Énergies marines renouvelables : briques et démonstrateurs", pour le projet Oceagen piloté par Ideol en partenariat avec Bouygues TP et l'Ifsttar.

L'Union Européenne a également soutenu le projet Floatgen à travers le 7<sup>e</sup> Programme-cadre de recherche et de développement technologique en apportant un financement total d'environ 10 millions d'euros.

Ideol est enfin partenaire du projet Lifes50+ qui a bénéficié d'un financement de l'Union européenne (programme Horizon 2020) de 7 millions d'euros.

### HISTOIRE ET VALEURS

« En 2010, à la création de la société, indique Paul de la Guérvrière, son Président-Directeur général, nous sommes partis du constat que l'éolien en mer faisait partie du mix énergétique du futur, mais que son avenir passait forcément par l'éolien flottant. Le potentiel était évident, mais le défi de taille ».

Tchernobyl, Deepwater Horizon, Fukushima... Notre planète est malade d'une politique énergétique héritée des 30 glorieuses et les manifestations extérieures de cette maladie se font de plus en plus présentes.

En 2010, les fondateurs d'Ideol, Paul de la Guérvrière et Pierre Coulombeau, ont fait le constat que, pour lutter contre le changement climatique et pour préparer le futur mix énergétique, l'éolien en mer était une solution, mais que l'éolien en mer flottant - sans limite de profondeur et sans impact sur le paysage côtier - allait rapidement devenir indispensable.

Les océans constituent une ressource immense et illimitée d'énergie renouvelable. Le vent le plus abondant et le plus régulier se situe au large, là où la profondeur d'eau est supérieure à 50 mètres.

Ideol a donc été fondée avec un seul objectif : introduire de l'innovation sur le segment des fondations pour l'éolien en mer et en particulier sur le segment des fondations flottantes afin de réduire significativement les coûts de l'éolien en mer.



© MARC MONTAGNON

« Les ingénieurs et les experts qui travaillent à mes côtés, poursuit-il, ont mis à profit leur grande expérience du monde de l'offshore et des énergies renouvelables pour développer une technologie flottante de rupture au service de l'éolien en mer, appuyée sur notre brevet principal : Damping Pool®. Après une série d'essais en bassin, Ideol s'est engagé dans le développement de son premier prototype (Floatgen), puis a été sollicité par le gouvernement japonais pour réaliser l'ingénierie de deux autres démonstrateurs. La machine était lancée ».

La société se positionne en tant qu'équipementier/constructeur du "système fondation" en partenariat avec des grands groupes. Elle est notamment responsable de la conception (conception globale et détaillée du flotteur et de l'ancrage), de la fourniture des composants d'ancrage, de la supervision des opérations de construction et d'installation offshore (pose et test des ancrages, remorquage du flotteur, connexion entre le flotteur et l'ancrage).

#### COMME UNE COQUE DE BATEAU

"Damping Pool®", se présente sous la forme d'un anneau carré avec une ouverture centrale - telle un puits - construit en béton ou en acier de 36 mètres de côté, d'une hauteur limitée à 9,50 mètres et de 7,50 mètres de tirant d'eau que l'on peut assimiler à une barge sophistiquée dont les propriétés hydrodynamiques assurent la stabilité (ces dimensions correspondent à un flotteur adapté à une éolienne de 2 MW. Pour une éolienne plus puissante, les dimensions seront un peu différentes). Ce puits casse les phénomènes de ballotement de la colonne d'eau pour les rendre en opposition de phase par rapport à la houle incidente. Le système est purement passif : il permet d'utiliser une barge pour faire de l'éolien flottant.

« Cette innovation, qui a fait l'objet d'un dépôt de brevet, précise le président d'Ideol, est le cœur de la technologie Ideol. Elle constitue par ailleurs la seule innovation apportée depuis plusieurs dizaines d'années dans le domaine de l'hydrodynamique ».

Le tirant d'eau est bien inférieur aux autres technologies développées, facilitant la réalisation de telles structures dans les ports. De plus, la taille de la fondation n'est pas proportionnelle à la puissance de la machine qu'elle supporte. Cette barge est capable d'accueillir une éolienne classique sans modification majeure. La machine supportée dans le cadre du projet Floa-



© BOUYGUES TP

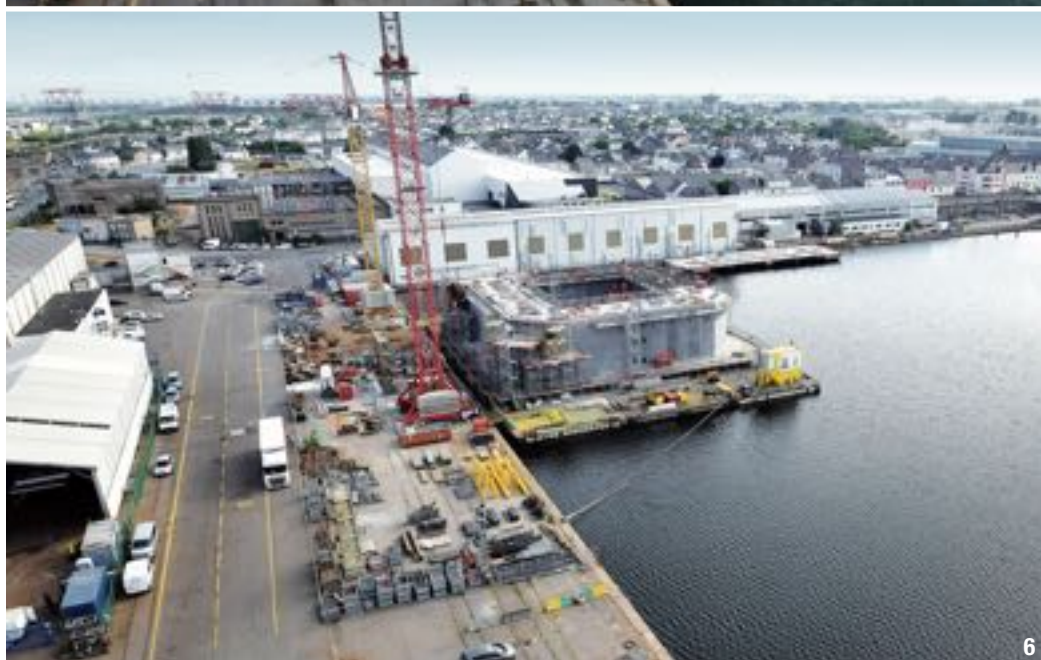
tgen en est l'illustration parfaite puisque cette turbine Vestas était initialement destinée à un parc éolien terrestre finalement annulé. Elle s'est parfaitement adaptée à la fondation flottante, seules quelques modifications étant nécessaires au niveau du système de

#### 4- Les barges assemblées dans le port de Lorient.

5 & 6- Deux phases de la construction du flotteur en béton Damping Pool® en janvier et juin 2017.



© IDEOL/ECN/BOUYGUES TP/DEVISUBOX



© IDEOL/ECN/BOUYGUES TP/DEVISUBOX



7 © IDEOL/ECN/BOUYGUES TP/DEVISUBOX



8 © IDEOL/ECN/BOUYGUES TP/L20 IMAGE

contrôle et de commande, pour tenir compte des conditions marines et notamment les mouvements de la mer, tout en adaptant le mât pour lui permettre avec l'ensemble de la structure d'encaisser des efforts plus importants.

« *Le Damping Pool<sup>®</sup>, pour lequel il n'y a pas de réelle limite de puissance en termes de machines installées, offre selon Paul de la Guérvrière, grâce aux propriétés hydrodynamiques de son design et au système d'ancrage, des mouvements de plateformes extrêmement limités. Sa conception optimise la stabilité et la performance globale de l'éolienne en mer flottante, même dans les conditions les plus extrêmes* ».

### BÉTON ALLÉGÉ AUTOPLAÇANT

Pour Floatgen, c'est Bouygues Travaux Publics, qui a été retenu pour fabriquer l'imposante structure, dont le poids final est d'un peu plus de 5000 tonnes. Le cœur de ce projet est constitué de R&D intégrant de l'innovation à tous les étages. L'entreprise a eu recours à une maquette numérique et a développé un béton léger auto-plaçant spécifique

### 7- Damping Pool<sup>®</sup> en flottaison dans la forme-écluse Joubert du port de Lorient.

### 8- Floatgen (flotteur + éolienne) en phase finale de construction.

### 9a & 9b- Installation de l'éolienne et de son mât en bord à quai.

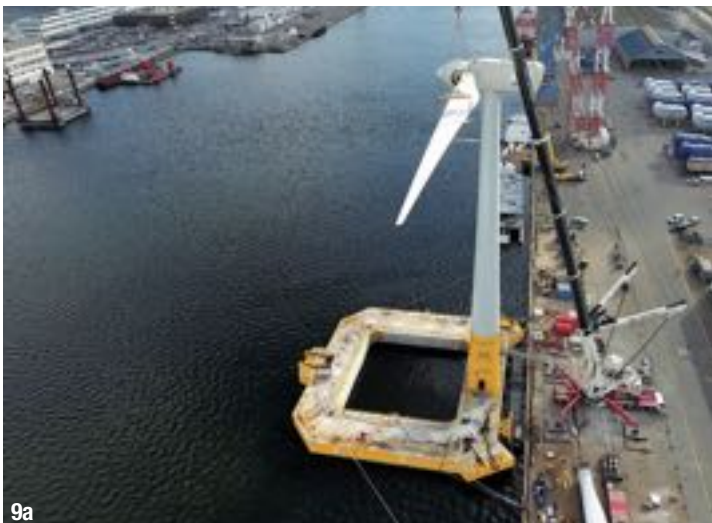
pour réduire la masse et obtenir une réalisation optimisée dans les coffrages. La méthode de construction est également innovante, avec une fabrication en bord à quai sur trois barges solidarisées, acheminées depuis la Mer du Nord. Cet ensemble a ensuite été remorqué dans la forme-écluse Joubert, située à l'entrée du port de Saint-Nazaire, où l'ouvrage a été mis en flottaison après lestage des barges.

Le béton développé par Bouygues Travaux Publics présente une masse de 2 t/m<sup>3</sup>, contre 2,4 t/m<sup>3</sup> pour un béton classique. Cela grâce à des granulats plus légers, en l'occurrence des matériaux expansés. C'est un béton technique, avec des caractéristiques adaptées. Il doit être très résistant pour soutenir les fortes contraintes sur la structure et être capable de rester en mer pendant des dizaines d'années. Alors que l'épaisseur du béton sur Floatgen est en moyenne de 35 centimètres, la structure est traitée contre la corrosion, l'épaisseur de l'enrobage entre l'extérieur et les premiers aciers étant suffisamment importante pour éloigner au maximum le métal de l'eau. À cela s'ajoutent les caractéristiques propres du béton employé, qui fissure peu et présente une très faible porosité pour éviter les infiltrations.

### ANCRAGES EN NYLON : PREMIÈRE MONDIALE

Le système d'ancrage constitue une autre originalité du projet. La fondation est maintenue par six lignes

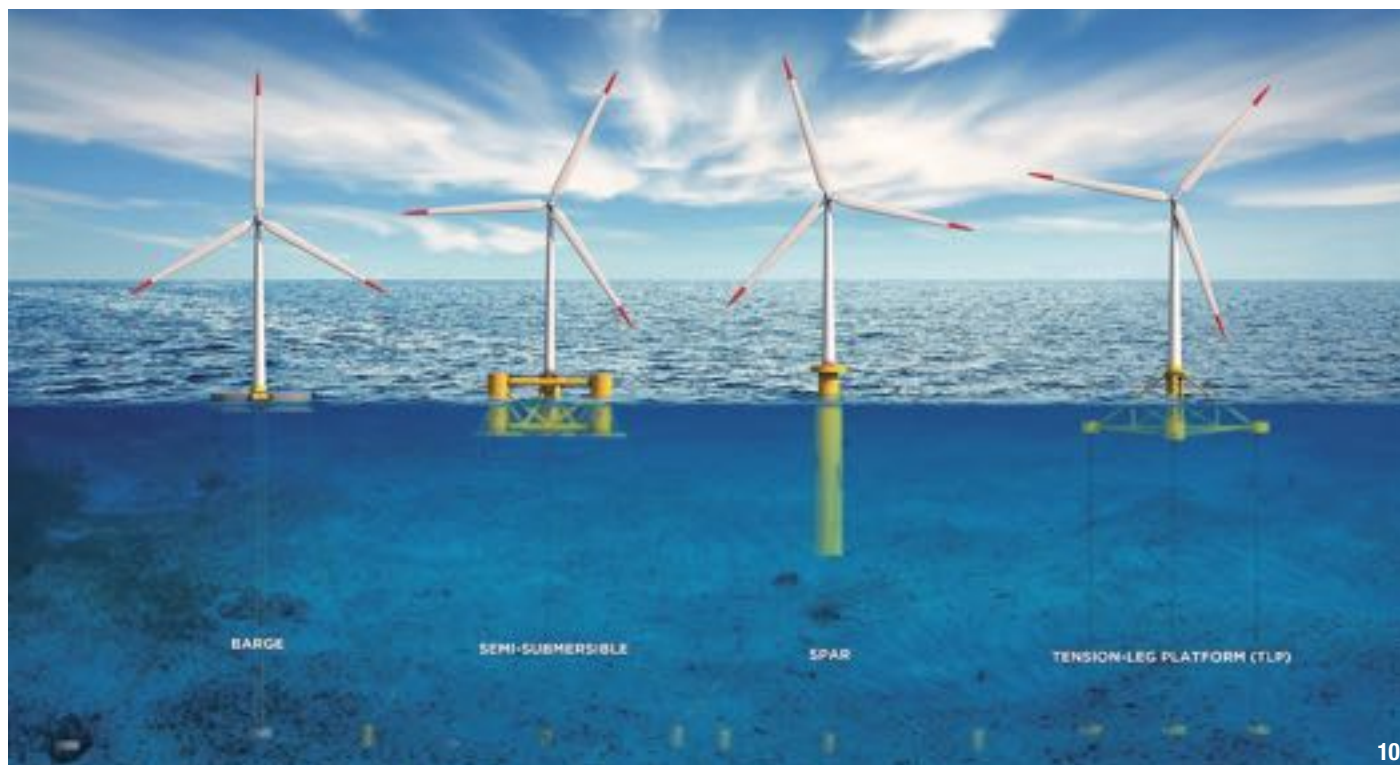
semi-tendues, reliées chacune à une ancre de 16 tonnes reposant au fond de la mer. Deux lignes maintiennent le flotteur sur l'avant et quatre autres par l'arrière. Il s'agit de lignes souples, dites caténaïres, longues de 400 à 600 mètres. Si les traditionnelles chaînes sont conservées à chaque extrémité (ancres et points de fixation sur le flotteur), l'essentiel de ces lignes est constitué de fibre synthétique, en l'occurrence du nylon. C'est la société bretonne LeBéon Manufacturing qui a été retenue pour fournir ce système innovant et s'est pour cela entourée de deux partenaires industriels du secteur de l'offshore : Bexco, spécialiste belge de la fibre synthétique et Dai-Han, sud-coréen spécialisé dans les éléments de chaîne. Ce dispositif, qui permet d'alléger le poids du système d'ancrage et de réduire significativement les coûts, constitue une première mondiale pour un ancrage permanent de cette dimension. Ces ancres en nylon de 220 mm permettent de maintenir l'éolienne de manière très précise et de résister aux plus fortes tempêtes. ▸



9a © IDEOL/ECN/BOUYGUES TP/L20 IMAGE



9b



10

© IDEOL

### L'ÉCONOMIE LOCALE CONCERNÉE

Autre intelligence du système : Ideol a conçu dès l'origine le Damping Pool® pour qu'il puisse être réalisé, suivant les pays, en acier ou en béton, selon les savoir-faire et coûts de production locaux.

« En Europe, par exemple, indique Paul de la Guérvivière, le béton est peu onéreux et bénéficie d'un grand savoir-faire, alors qu'en Asie, la métallurgie est très puissante et peut inciter à opter pour l'acier. Un élément crucial car, par rapport à l'éolien posé, le flottant doit offrir des retombées locales plus importantes ».

Compte tenu de la taille réduite des structures, elles peuvent être réalisées à proximité des parcs en mer, l'essentiel des travaux de construction étant conduits dans les ports. Il ne s'agira donc plus uniquement d'utiliser des bases logistiques pour la réception et le pré-assemblage des éléments d'éoliennes, puis leur embarquement sur des navires assurant l'installation au large. C'est ce qui s'est avéré pour Floatgen dont la construction dans le port de Saint-Nazaire s'est donc imposée et a créé de nombreux emplois, à la fois directs et indirects.

« Cette technologie permet d'accroître les retombées pour l'économie locale et de créer des emplois en réalisant la construction au plus près des sites d'installation. Pour la coque en béton de Floatgen, ont été mobilisés en

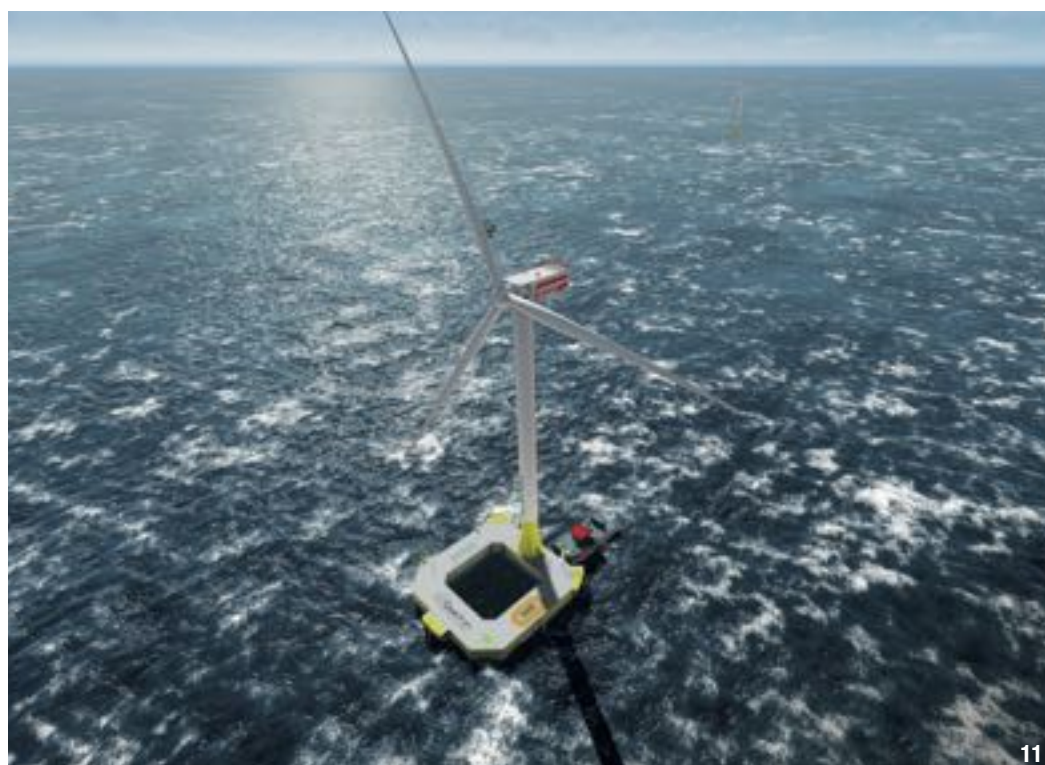
pointe 70 emplois directs et le projet a fait travailler environ 70 entreprises régionales à des degrés divers, allant de la fourniture de béton et de métal aux prestations de service, jusqu'aux assurances. Il y a eu pour cette seule éolienne plus de 6 millions d'euros de retombées économiques pour les entreprises régionales ».

### 10- Comparatif des différentes technologies d'éoliennes flottantes en mer.

11- Le projet Quadran retenu pour la ferme-pilote Eolmed.

### SEM-REV : UN OUTIL DE RECHERCHE

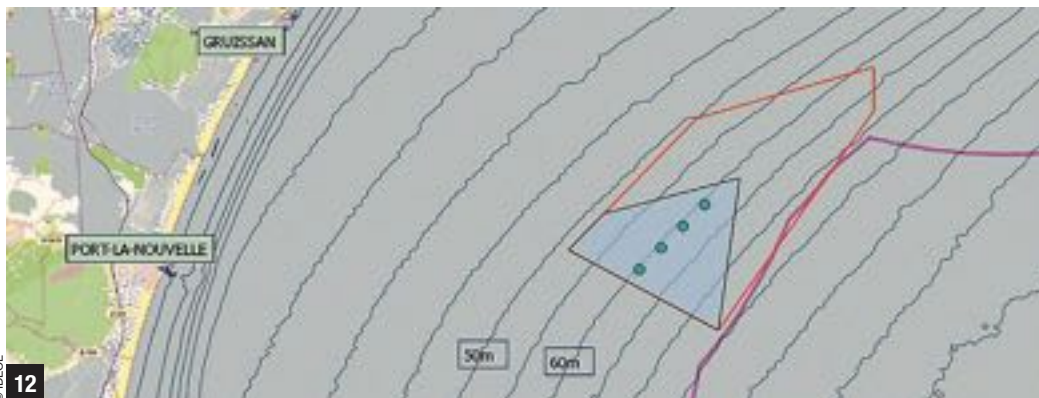
La plateforme d'essais en mer de Centrale Nantes SEM-REV sur laquelle est installée l'éolienne Floatgen est un outil de recherche de dimension internationale qui permet de mettre au point, en conditions réelles et à l'échelle 1, des pilotes ou prototypes de récupération



11

© IDEOL





© IDEOL  
12

**12- Schéma d'implantation de la ferme-pilote Eolmed au large de Gruissan.**  
**13- L'éolienne qui équipera la ferme-pilote Eolmed en Méditerranée.**



13  
© IDEOL

de l'énergie en mer (vent, vagues). Les chercheurs et industriels disposent ainsi des moyens nécessaires aux essais de prototypes avant leur exploitation industrielle.

« Au-delà des performances techniques, l'enjeu majeur de ce nouveau concept est économique : Le flotteur Ideol est extrêmement compact et simple. C'est aujourd'hui la seule technologie qui donne de l'avenir à l'éolien flottant car elle permet de réduire les coûts et elle est compatible avec des développements à grande échelle », affirme Paul de la Guérvrière.

Le flotteur a été conçu par Ideol comme une structure simple à réaliser, mais aussi à entretenir.

« Tout travail offshore coûte cher et reste contraint par les conditions météo, précise Paul de la Guérvrière. Nous avons donc décidé d'éliminer au maximum ce problème pour réduire les coûts et les risques. Pour le flotteur, par exemple, il n'y a pas de pompe, ni de système électromécanique, il est auto-stabilisé et ne nécessite aucune intervention. Quant au béton, il présente l'énorme avantage de pouvoir résister pendant 30 à 50 ans sans maintenance ».

L'anneau carré en béton est constitué de 16 alvéoles indépendantes, leur volume d'air assurant la flottaison. La fondation fonctionne ainsi comme une coque de bateau, avec un compartimentage permettant, en cas de

## DES SOUS-STATIONS ÉLECTRIQUES DE NOUVELLE GÉNÉRATION

**Ideol et Atlantique Offshore Energy (Business Unit des Chantiers de l'Atlantique, ex-STX) fournisseur de renommée mondiale en EPCI (Engineering, Procurement, Construction, Installation) de sous-stations pour le marché de l'éolien en mer fixe, ont annoncé le développement d'une sous-station électrique flottante. Cette sous-station sera à la fois opérable dans des parcs éoliens en mer fixes et flottants.**

**Cette solution universelle et adaptable pourra bouleverser le marché des sous-stations en mer. Elle doit être prête pour une mise sur le marché lors de la sortie des futurs appels d'offres commerciaux d'éolien en mer flottant en France.**

**Fondée sur le système breveté Damping Pool® et conçue pour être opérable dans les environnements marins les plus extrêmes, elle est développée avec pour objectif principal de réduire les coûts en proposant une solution standardisée mais modulable en fonction des besoins. Ce concept doit en effet rester flexible pour répondre aux demandes des clients, aux réglementations locales ou aux spécificités des organismes de certification.**

**Ideol et STX combinent ainsi leur expertise respective pour développer, construire et installer une sous-station électrique flottante compatible avec les projets éoliens en mer fixes et flottants dès 30 mètres.**

**Le potentiel est très important, car près de 115 GW de nouvelles capacités en éolien offshore doivent être installées dans le monde d'ici à 2030.**

**Cette initiative fait partie d'Optiflot, un projet de R&D qui implique également ABB et SNEF.**

brèche, de maintenir la flottabilité avec l'une des alvéoles inondées. Ideol a d'ailleurs réalisé des tests en remplissant chaque alvéole d'eau afin de vérifier que la structure continuait de flotter normalement.

### Floatgen installé en mer

La première éolienne flottante en mer en France est arrivée sur le site d'essais de Centrale Nantes - SEM-REV -, à 20 kilomètres au large du Croisic, le lundi 30 avril 2018 au matin après une dizaine d'heures de remorquage.

Confidées à l'entreprise Jifmar, les opérations de raccordement aux lignes d'ancrage (préinstallées sur site depuis juillet 2017) ont été menées avec succès dans les jours qui ont suivi.

Cette installation a déjà permis de valider l'excellente tenue à la mer de la plateforme et sa conformité aux modèles développés par Ideol, grâce notamment à un épisode météo-océanique intense (vague de plus de 5 m et vents de plus de 15 m/s), survenu juste après l'installation.

Les dernières étapes de mise en service, dont le raccordement au câble d'export et au réseau électrique (installé sur site depuis 2015), ont eu lieu dans les semaines suivantes, après une ultime série de tests : Floatgen est entrée définitivement en production le 18 septembre 2018.

Une étape tout à fait symbolique pour Ideol. Cette éolienne est en effet la première unité opérationnelle du concept de fondation flottante brevetée par l'entreprise, avant la mise en service d'une seconde unité au Japon dans les prochains jours.

### EOLMED : HORIZON 2020

L'entreprise ne compte évidemment pas en rester là : elle a été retenue pour le projet Eolmed dont la construction devrait débuter en 2020.

En effet, dans le cadre de l'appel à projets "Fermes pilotes", le Gouvernement français a retenu le consortium piloté par le groupe Quadran Energies Marines, énergéticien indépendant, connu pour son implantation historique en Occitanie (Languedoc Roussillon), pour la réalisation d'Eolmed, une ferme pilote française d'éoliennes flottantes de 24 MW (4 éoliennes).

Installé au large de Gruissan, à plus de 15 kilomètres des côtes méditerranéennes, le projet Eolmed réunit autour de Quadran Energies Marines des experts-partenaires de haut niveau : Servion (turbines 6.2M152), Bouygues Travaux Publics et donc Ideol. ▷

## LE JAPON : UN MARCHÉ EN PLEINE MUTATION

À la suite de l'accident de Fukushima en 2011, le Japon a arrêté l'ensemble de ses centrales nucléaires, a pris la décision de ne plus en construire de nouvelles même s'il envisage aujourd'hui d'en faire redémarrer quelques-unes.

Face à la perte d'une part essentielle de la production électrique, le gouvernement japonais a mis en place une stratégie pour trouver des sources alternatives de production d'énergie. Devant l'absence de foncier disponible, il s'est orienté vers l'éolien en mer, et compte tenu de la grande profondeur des côtes, vers l'éolien flottant, qu'il a décidé de développer massivement.

Fin 2011, la construction de plusieurs démonstrateurs flottants, financé à 100% par l'État, a été réalisée au large de Fukushima, rassemblant les quatre grands acteurs japonais du domaine avec quatre technologies différentes.

En raison du coût jugé exorbitant de ces démonstrateurs, le gouvernement s'est alors intéressé à des technologies étrangères avec pour objectif de valider une technologie flottante en vue d'équiper les futurs parcs commerciaux flottants que le gouvernement japonais souhaite voir installés à l'horizon 2030. La seule technologie à avoir été retenue est celle développée par Ideol.

Dans ce contexte, Nedo, équivalent de l'Ademe au Japon, a commandé la construction d'une éolienne, sur la base du concept Ideol.

Dans le cadre de ce projet, Ideol a été chargée (pour le compte de son partenaire Hitachi Zosen) du design et de l'ingénierie de la fondation des deux démonstrateurs flottants, l'un en acier et l'autre en béton, et son accompagnement en phase de construction et d'installation sur un démonstrateur, baptisé Hibiki.

Ce démonstrateur, réalisé en acier dans le port d'Osaka, a été installé en septembre 2018 au large des côtes de Kitakyūshū. Il vient d'entrer en exploitation.



14

© NEDO

Les éoliennes seront sur la bathymétrie des 60 mètres de fond et raccordées à des ancres charrues au travers de 8 lignes d'ancrage maximum.

Ce parc d'une puissance totale de 24,6 MW permettra de produire près de 100 millions de kWh/an soit la consommation électrique annuelle de 50 000 habitants.

Eolmed représente un investissement majeur qui entraînera des retombées économiques locales. La phase commerciale générera 300 emplois directs

**14- Le démonstrateur "Hibiki" en construction dans le port d'Osaka.**

**15- Montage du mât et de l'éolienne sur la base du démonstrateur "Hibiki" sur la base du Damping Pool® retenu par le Japon.**



15

© NEDO

## UNE PREMIÈRE FERME COMMERCIALE AU JAPON

Acacia Renewables (ex RES Japon, désormais filiale à 100% de Macquarie Capital Japan) et Ideol, ont signé le 14 mars 2018 un Memorandum Of Understanding (MOU), accord visant à développer la première ferme éolienne flottante à échelle commerciale du Japon.

Les deux sociétés travaillent ensemble au développement d'un projet sur les côtes du Japon. Il s'appuie sur la technologie Damping Pool brevetée par Ideol et sur l'expérience d'Acacia Renewables en matière de développement et de financement de projets, aidée en cela par l'expertise de Macquarie Capital dans la gestion des portefeuilles d'éolien en mer. La construction est aujourd'hui prévue pour 2023.

Dans l'immédiat, Ideol et Acacia Renewables, qui souhaitent lancer la construction en 2023, ne communiquent pas sur les zones envisagées. « C'est un pays très stratégique donc très concurrentiel, et l'identification des zones fait partie des sujets clés dans le cadre du développement de projets » précise Paul de la Guérvrière.

Le nombre d'éoliennes que ce parc pourrait comprendre n'est pas non plus précisé, mais on parle bien, puisqu'il s'agit d'une ferme commerciale, de plusieurs dizaines de machines.

« Nous sommes très fiers qu'un acteur de premier plan comme Macquarie Japon reconnaisse la pertinence de notre technologie et notamment sa compatibilité avec la tendance à l'augmentation de la puissance des éoliennes et de la relocalisation des activités de construction à proximité des sites d'installation. La signature d'un tel accord démontre clairement qu'avec deux démonstrateurs sur deux continents différents et une ferme pré-commerciale en développement, nous sommes prêts pour la prochaine étape : le déploiement à échelle commerciale », ajoute Paul de la Guérvrière.

La signature de ce MOU et les perspectives qu'il ouvre constituent donc une nouvelle étape importante pour Ideol, qui dispose d'ailleurs d'une agence à Tokyo qui sera renforcée d'un bureau d'ingénierie d'ici fin 2018.



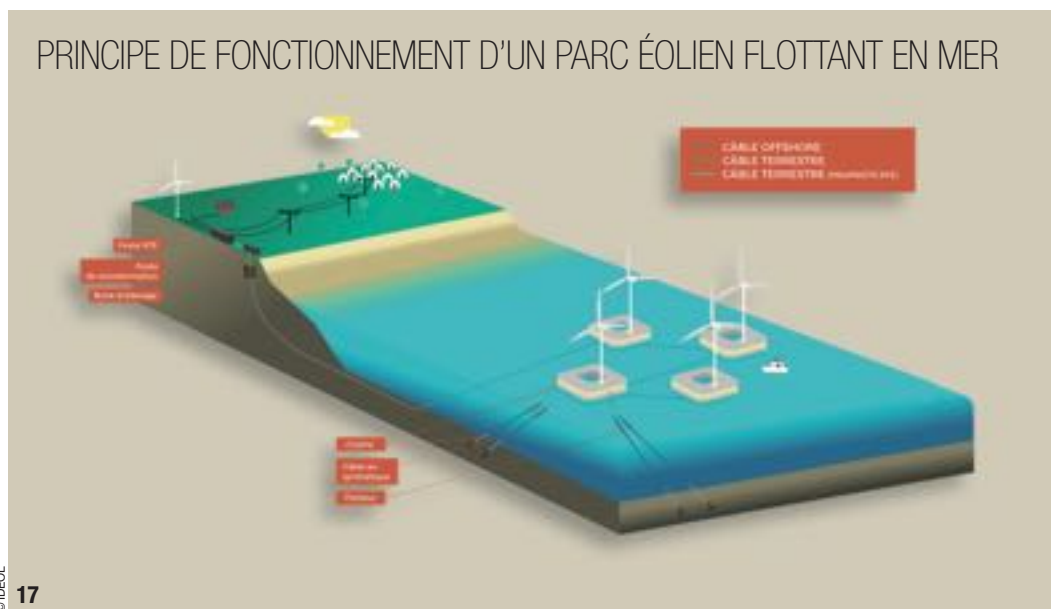
16

© IDEOL

**16- Le cœur du projet Ideol, c'est le flotteur, sans réelle limite de profondeur ou de puissance d'utilisation.**

**17- Principe de fonctionnement d'un parc éolien flottant en mer.**

**18- Un champ d'éoliennes flottantes en mer tel qu'il pourrait s'en développer en France, au Japon et dans le monde.**



© IDEOL

17

et le développement de son port de base Port-la-Nouvelle où seront construits les flotteurs Damping Pool® et assemblées les éoliennes de la ferme pilote. Il sera le premier parc éolien en Méditerranée.

Parallèlement, Ideol développe actuellement plusieurs projets pré-commerciaux et commerciaux dans différents pays et sur différents continents : Japon - en partenariat avec Acacia Renewables (Macquarie Capital Japan), Europe, USA...

### ÉOLIEN FLOTTANT : UN MARCHÉ OUVERT SUR LE MONDE

L'éolien fixe compte aujourd'hui plus de 3600 machines en service dans le monde, quasi-exclusivement en Europe du nord. Mais on ne peut pas installer de tels parcs au-delà de 40 mètres de

profondeur et la plupart des sites propices ont déjà été développés ou sont en cours de développement.

« À l'inverse, poursuit Paul de la Gué-rièrre, le flottant offre une alternative

quasiment illimitée, car il permet de s'affranchir de toute contrainte de profondeur. On peut donc ouvrir le marché de l'éolien en mer à tous les pays du monde, et non plus seulement quelques

zones peu profondes concentrées pour l'essentiel dans les eaux européennes ».

Le flottant permet aussi d'exploiter au mieux les ressources offertes par le vent, sur les sites plus éloignés des côtes, là où les gisements éoliens sont les meilleurs.

Et le président d'Ideol de conclure : « Puisqu'on s'éloigne du littoral, on résout les problèmes liés à la pollution visuelle et aux conflits d'usage, par exemple avec les pêcheurs. Enfin, sur le plan industriel, l'un des grands atouts de cette technologie est de pouvoir réaliser presque tous les travaux à terre. Contrairement à l'éolien posé, il n'y a plus à utiliser des navires d'installation, coûteux, soumis aux aléas météo et qu'il faut réserver longtemps à l'avance ». □



18

© IDEOL



1

© F. HENRY / PHOTOTHÈQUE ETMF

# LES GABIONS DE PROTECTION DES PILES DU PONT DE PIERRE À BORDEAUX

AUTEURS : SÉBASTIEN GUILLEMOTEAU, INGÉNIEUR TRAVAUX, DIRECTEUR DU CHANTIER, BALINEAU - JOSSE PROVOST, DIRECTEUR ADJOINT DU CHANTIER, ETMF - NICOLAS CARPENTIER, DIRECTEUR DE PROJET, ANTEA RÉGION OUEST/SUD OUEST - MOHAMED MARIKO, RESPONSABLE DU SERVICE OUVRAGES D'ART DE BORDEAUX MÉTROPOLE

LE CONFORTMENT SOUS-FLUVIAL DU PONT DE PIERRE A ÉTÉ ACHEVÉ AVANT L'ÉTÉ 2018, APRÈS UN AN DE TRAVAUX. ILS ONT ÉTÉ RÉALISÉS PAR LE GROUPEMENT BALINEAU (MANDATAIRE), EIFFAGE TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX ET VINCI CONSTRUCTION MARITIME ET FLUVIAL. LA STABILITÉ DE CE PONT HISTORIQUE DATANT DE 1822 ÉTAIT MENACÉE PAR LES AFFOUILLEMENTS. UN LEVÉ MULTIFAISCEAU A PERMIS LA RÉALISATION D'UNE MAQUETTE 3D POUR LE CALEPINAGE DES PROTECTIONS. LA POSE DES FILETS ET DES GABIONS DE PLUS DE 120 t A NÉCESSITÉ UN ÉQUIPEMENT FLOTTANT SPÉCIAL. LE CONTRÔLE A ÉTÉ FAIT PAR PLONGEURS ET CAMÉRA ACOUSTIQUE 3D.

## UN OUVRAGE PATRIMONIAL MENACÉ

Classé monument historique, c'est le premier pont à avoir été construit sur la Garonne à Bordeaux, à la demande de Napoléon. Terminé en 1822, il mesure environ 500 m de long, 15 m de large et possède 16 piles et 2 culées pour

17 arches maçonnées en pierre et en briques.

Chaque pile est fondée sur deux cent cinquante pieux en pin de diamètre 20 cm environ, répartis selon un maillage de 0,90 m x 0,85 m, plantés dans le lit de la Garonne au sein des alluvions vasardes ou sableuses.

**1- Pose des filets d'encrochements depuis le ponton-grue.**

**1- Placing rock-fill nets from the floating crane.**

Sous les arches, les radiers de passes - constitués de blocs d'encrochements - ont une géométrie en voûte inversée pour améliorer le débouché hydraulique.

Déjà peu après son inauguration, puis tout au long du XIX<sup>e</sup> siècle, de multiples travaux d'entretien et de réparation sont

2- Plan des fondations du pont.

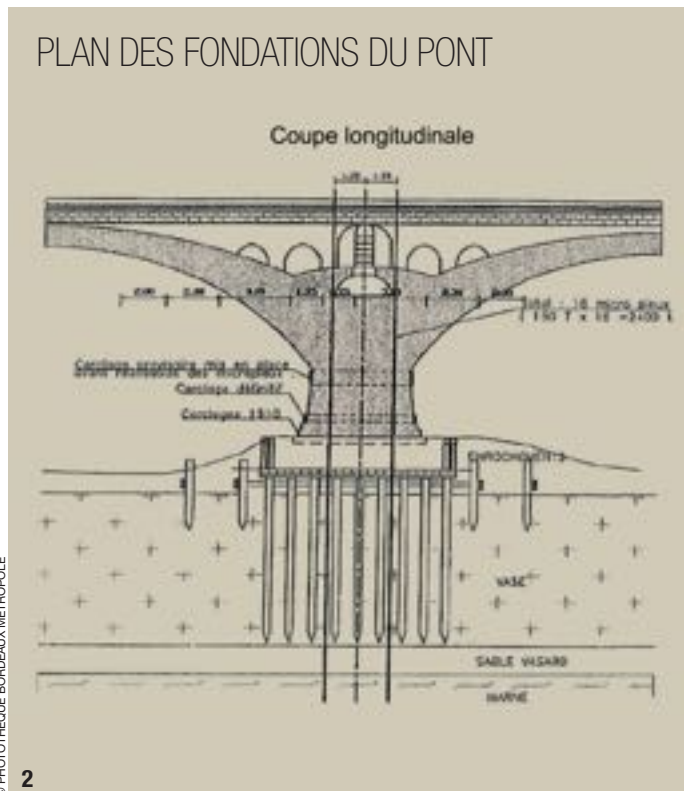
3- Levé bathymétrique initial faisant apparaître le phénomène de creusement de fosses en amont et en aval du pont.

4- Extrait de la maquette 3D du fond du fleuve avec le calepinage de pose des gabions.

2- Drawing of bridge foundations.

3- Initial bathymetric survey showing the phenomenon of pit formation upstream and downstream of the bridge.

4- Excerpt from the 3D model of the bottom of the river with the gabion layout drawing.



© PHOTOOTHÈQUE BORDEAUX MÉTROPOLE

2

Des micropieux métalliques de diamètre 160 mm, injectés au coulis sur 35 m de longueur, sont ancrés dans la marnes et scellés au corps de maçonnerie (figure 2).

Enfin, le dernier chantier sur l'ouvrage a lieu en 2004 : six ducs-d'Albe (trois en amont et trois en aval) sont mis en place en amont et en aval des piles P8 et P9. Equipés de poutres de guidage passant sous l'arche, le système permet la création d'un chenal sécurisé pour le passage des barges transportant les pièces d'Airbus, les empêchant de heurter les piles du pont.

D'une manière générale, le pont est soumis à des phénomènes d'affouillements par contraction causés par le rétrécissement du lit de la Garonne et des affouillements locaux générés par l'interaction entre les courants et les piles. Ces phénomènes érosifs créent des fosses d'érosion à proximité des piles et des pentes instables dans les talus sous-fluviaux qui supportent les fondations.

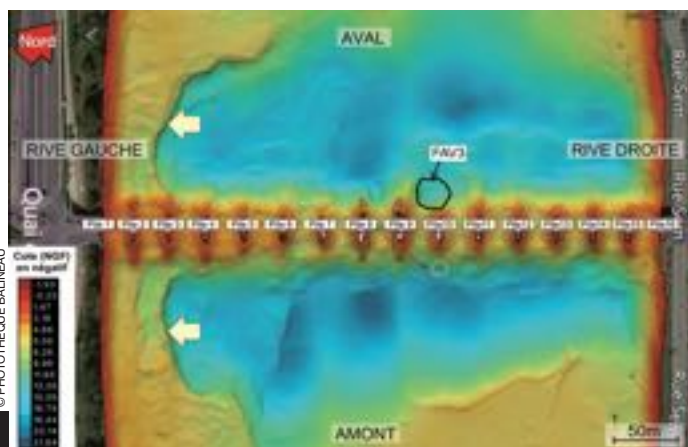
Le service ouvrages d'art de Bordeaux Métropole a donc engagé les études nécessaires pour remédier aux désordres constatés et a programmé budgétairement les dépenses afférentes afin de garantir la stabilité du pont de pierre et sa pérennité sur plusieurs dizaines d'années.

Parmi les études menées, des levés multifaisceaux de suivi comparé au levé initial (figure 3) en début de chantier ainsi que des prises de vue géoréférencées par caméra panoramique immersive et scanner a permis d'établir une maquette 3D de l'ouvrage (figure 4) et de ses environnants avant démarrage des travaux. Cet outil a permis de définir les zones à traiter et d'optimiser l'implantation des gabions (figure 5) notamment en identifiant les secteurs les plus évolutifs.

C'est par exemple le cas de la fosse n°3 dont l'évolution entre 2013 et 2017 (figure 6), montre un creusement rapide du talus et ce à proximité immédiate des piles.

## LA POSE DES FILETS

La première partie du confortement consiste à combler les fosses d'érosion par des filets synthétiques d'enrochements emmaillotés. La pose des filets permet d'aplanir le support de pose avant la mise en œuvre des gabions. Le remplissage de ces filets (diorite de granulométrie de 40 à 200 mm) se fait à 3 km en aval du chantier, au dépôt matériel de Balineau qui permet la préparation directement à quai.

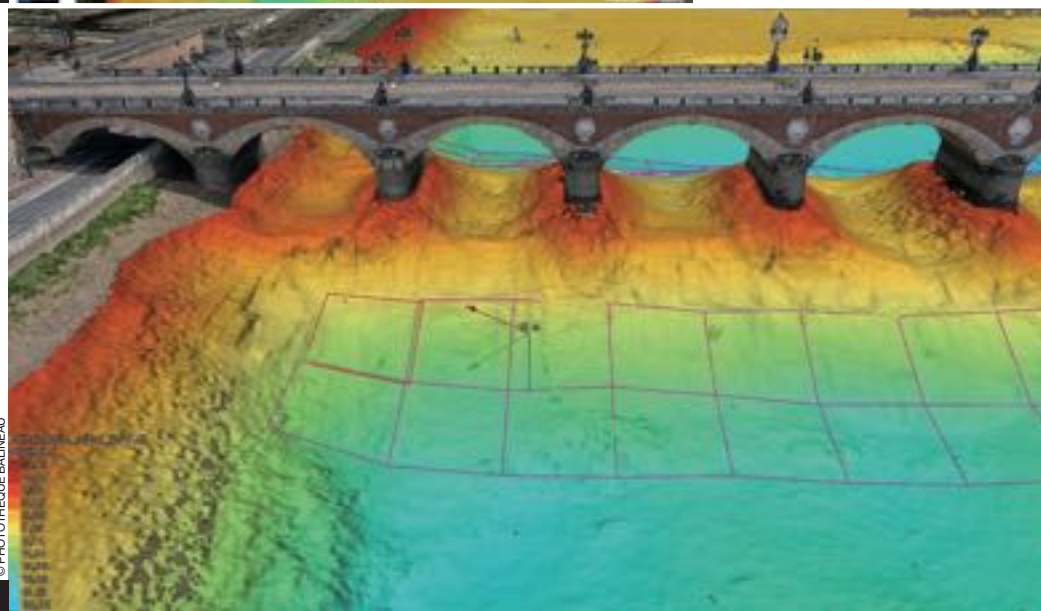


© PHOTOOTHÈQUE BALINEAU

3

réalisés. Des blocs d'enrochement sont régulièrement rajoutés sur les pourtours des piles pour lutter contre les affouillements et des cerclages métalliques sont installés autour d'assises de certaines piles suite à l'apparition de désordres dans les maçonneries après tassements différentiels des couches supports.

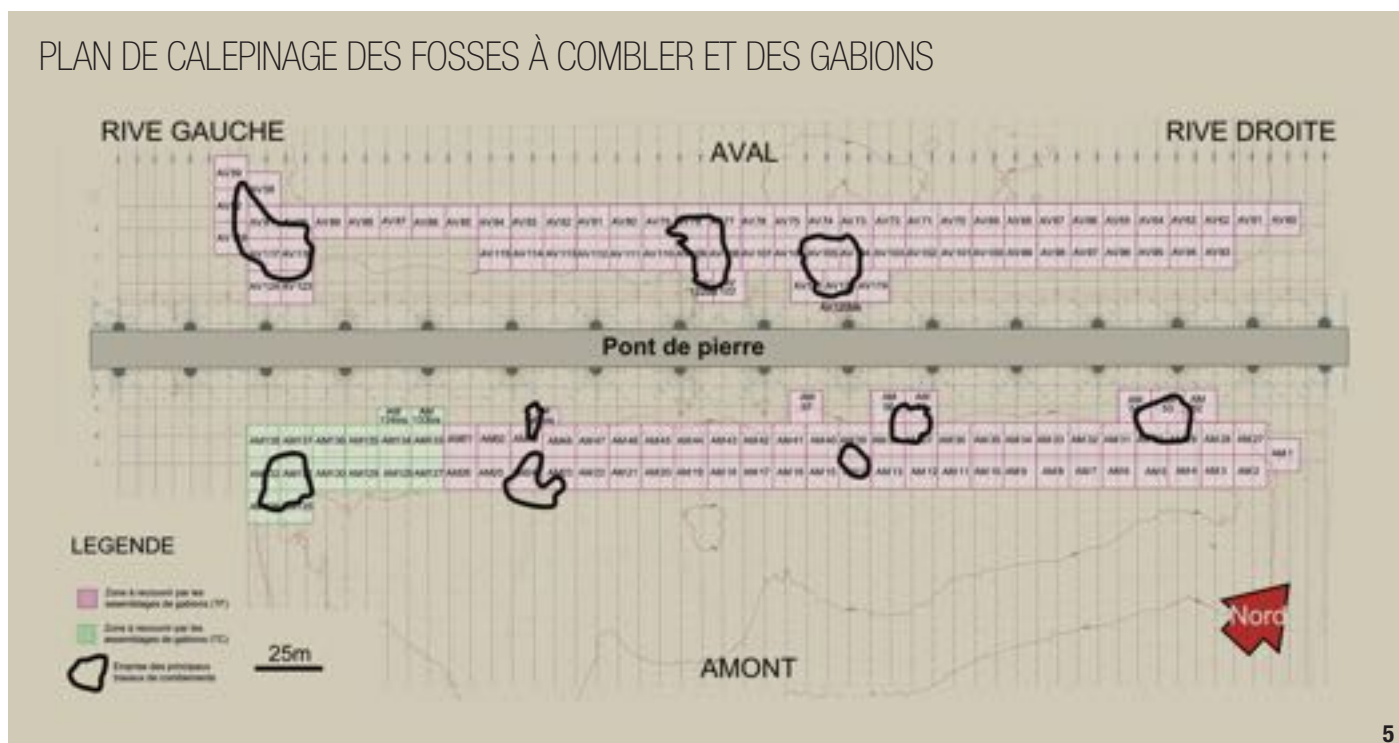
Dans les années 90, des travaux de renforcement des fondations sont engagés pour lutter contre le tassement des sols supports.



© PHOTOOTHÈQUE BALINEAU

4

## PLAN DE CALEPINAGE DES FOSSES À COMBLER ET DES GABIONS



5

© PHOTOTHÈQUE BALINEAU

Une pelle de 8 t remplit les filets retroussés sur des moules métalliques servant de coffrage. Sont ainsi fabriqués des filets de 2,5 t ou 4,0 t, les deux types de filets permettant d'optimiser les remplissages de fosse en s'adaptant à leur morphologie. Les filets une fois prêts sont acheminés par un ponton de servitude de 24x12 m et bateau pousseur jusqu'au ponton de pose de 30 x18 m équipé d'une grue de 110 t. Ils sont ensuite descendus dans la fosse par palonniers de 4 unités (figure 1 et 7) selon un calepinage pré-établi à par-

tir de relevés des fosses identifiées. Ainsi 1200 filets ont été posés. En complément à la pose des filets, les irrégularités les plus marquées du terrain naturel compromettant la pose des gabions, des déchets anthropiques ou encore des gros blocs d'enrochements, sont traitées soit à l'aide de la benne preneuse montée sur la grue du ponton, soit par un travail d'élingage par grue et assistance des plongeurs. Cette identification est possible grâce à l'imagerie par caméra acoustique et bathymétrie (figure 8).

**5- Plan de calepinage des fosses à combler et des gabions.**

**6- Évolution d'une fosse d'érosion causée par affouillement local.**

**5- Layout drawing of the pits to be filled and the gabions.**

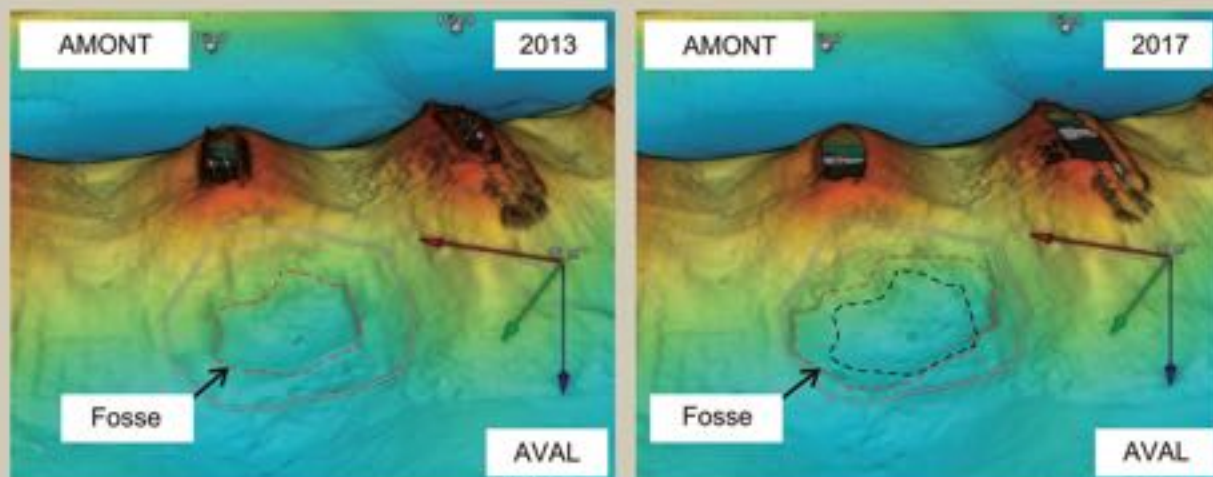
**6- Development of an erosion pit caused by local scouring.**

### LA POSE DES GABIONS

La seconde opération du confortement est la pose d'une carapace de protection en gabions métalliques sur 22500 m<sup>2</sup> de part et d'autre du pont. Bien que concomitante avec la pose des filets, la pose des gabions se fait une fois la zone traitée et aplanie si besoin avec les filets.

Ces gabions 12x12x0,5 m, au nombre de 157 au total, sont confectionnés à partir de cellules unitaires de 6x2 m assemblées à terre à l'aide d'agrafes pneumatiques (figure 9).

## ÉVOLUTION D'UNE FOSSE D'ÉROSION CAUSÉE PAR AFFOUILLEMENT LOCAL



6

© PHOTOTHÈQUE BORDEAUX MÉTROPOLE



7

© PHOTOTHÈQUE BALINEAU

**7- Les 2 postes de pose : filets et gabions.**

**8- Résultats bruts en temps réel de la bathymétrie.**

**9- Pré-assemblage des cellules de gabion.**

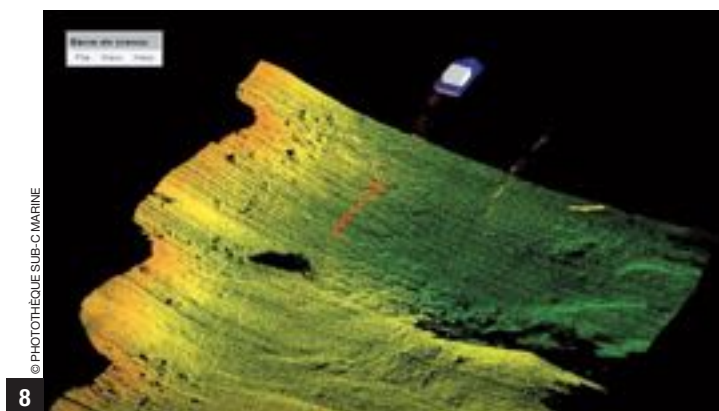
**10- Atelier de confection des filets et des gabions au dépôt Balineau en bordure de la Garonne.**

**7- The 2 placing stations: nets and gabions.**

**8- Real-time raw results of bathymetry.**

**9- Pre-assembly of gabion units.**

**10- Net and gabion making equipment in the Balineau depot on the edge of the Garonne.**



© PHOTOTHÈQUE SUB-MARINE

8

Les cellules sont constituées de mailles tissées à double torsion certifiées NF, avec un revêtement GalFan de haute durabilité. La confection des gabions se fait au dépôt Balineau, tout comme les filets (figure 10).

La confection se termine sur des pontons de servitude de 15x15 m après remplissage avec des blocs de diorite de granulométrie 90/180 mm à l'aide d'une pelle à bras long (figure 11).

Le choix du type de roche a été dicté par la recherche d'une densité de matériau élevée, supérieure à 2,65, afin d'obtenir des gabions d'une masse volumique en place aussi grande que possible et ainsi un meilleur pouvoir stabilisateur. Il a ainsi fallu se procurer les blocs dans des carrières relativement éloignées, en Corrèze et en Charente.

Les gabions possèdent des débords pour garantir la continuité de la pro-

tection et sont dotés d'un géotextile en sous-face.

Les pontons flottants équipés de leurs gabions finalisés de 120 t environ chacun sont acheminés jusqu'au pont de pierre. Les manœuvres et le trajet dans les forts courants de la Garonne sont possibles grâce à l'expérience des équipes et à un bateau-poussoir de 1 000 CV, "Le Brazza", construit spécifiquement pour ce chantier.

La pose des gabions se fait avec un portique et un palonnier fabriqués sur mesure et installés sur un ponton flottant en U de 33x21 m.

Le ponton de servitude portant le gabion est positionné sous le palonnier dont les doigts, actionnés par vérins hydrauliques, viennent s'insérer dans les suspentes de levage des gabions et le libéreront une fois ce dernier au fond (figures 12 et 13).

Une fois le gabion levé, le ponton/portique se positionne avec précision (instrumentation GPS) grâce à l'action de ses treuils sur les 6 câbles de mouillage puis le gabion est descendu au fond. ▷



© PHOTOTHÈQUE BALINEAU

9



10



11

© PHOTOHÉQUE BALINEAU

Les 4 treuils assurant le mouvement vertical du palonnier sont équipés de capteurs de charge et de longueur de déroulement. Ils permettent la maîtrise de la descente du gabion et son inclinaison pour s'adapter à la pente du terrain naturel (figure 14).

#### DES CONTRAINTES DE CHANTIER IMPORTANTES ET UN SUIVI DE HAUTE TECHNICITÉ

Les poses de ces filets et gabions sont régies par des conditions environnementales contraignantes : de forts courants (2,5 m/s), une fenêtre de pose aux étiages qui dure une trentaine de minutes et une forte turbidité rendant complexe le suivi des travaux.

Ainsi, pour permettre de respecter des tolérances d'implantation exigeantes, un suivi de pose par caméra acoustique 3D permettait de suivre visuellement la descente des filets et des gabions (figures 15 et 16) et de corriger en temps réel le positionnement pour éviter les chevauchements ainsi que les espacements trop importants.

En complément les équipes de plongeurs assistaient également chaque pose au toucher, dans le noir le plus total, afin d'affiner le positionnement en remontant à la surface les informations par contact radio (figures 17 et 18). Le rôle des équipes de plongeurs fut d'autant plus essentiel que la Garonne, sous l'effet de l'alternance des courants

**11- Remplissage des gabions avec la pelle à bras long.**

**12- Amenée du gabion sous le palonnier du ponton-portique.**

**13- Prise en charge du gabion par le portique.**

**11- Filling gabions with the long-arm excavator.**

**12- Bringing the gabion under the lifting beam of the floating gantry crane.**

**13- Gabion taken up by the gantry crane.**

de l'estuaire couplée aux faibles débits en période d'étiage, subit un phénomène appelé "bouchon vaseux" durant lequel la mise en suspension des sédiments fins entraîne une augmentation importante de la turbidité (taux de matières en suspension supérieure à 10 g/l). Cela perturbe le fonctionnement des caméras acoustiques et complique la réalisation des bathymétries.

Le ponton de pose des gabions était équipé d'une station météo et d'enregistrement de différents paramètres environnementaux tels que la vitesse du courant et la turbidité ce qui permettait de cibler et d'optimiser les phases de travail. À cela s'ajoutaient des contraintes de phasage complexes



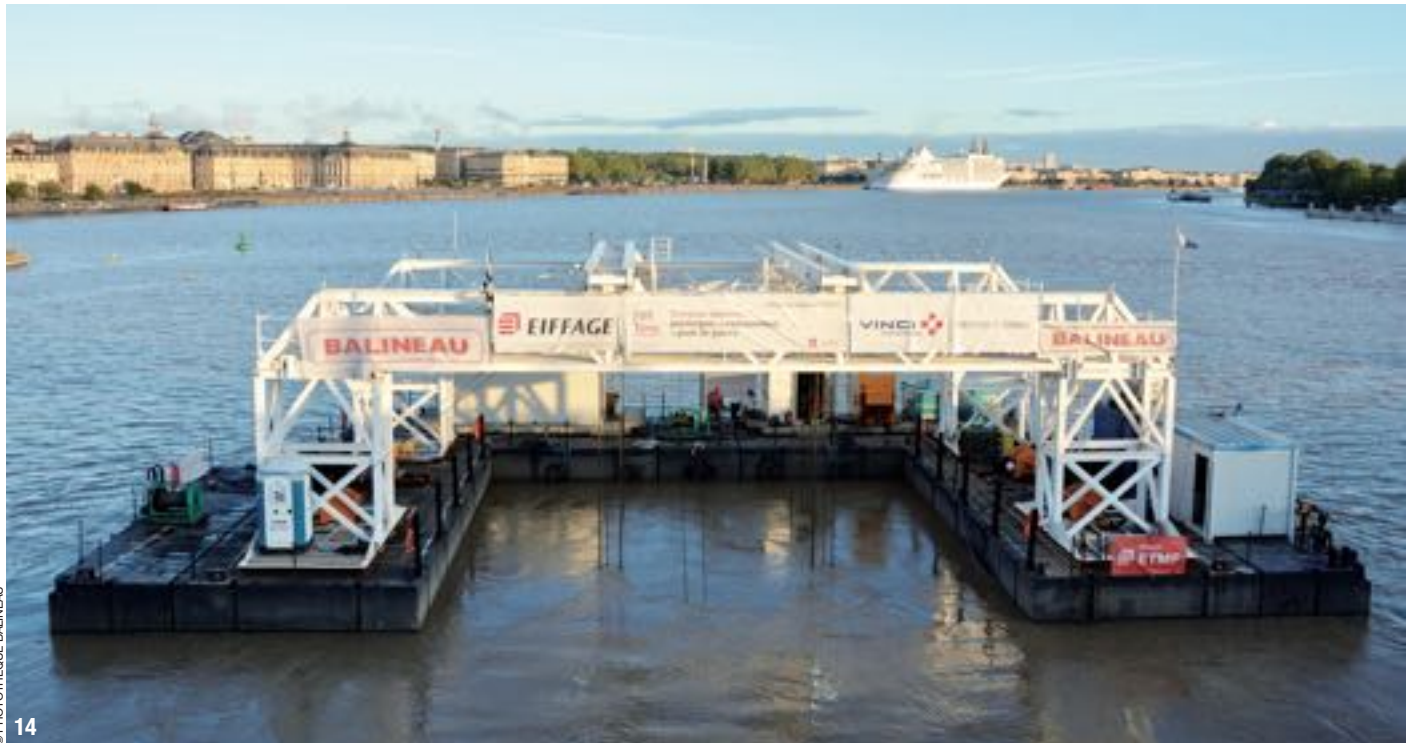
12



13

© F. HENRY / PHOTOHÉQUE ETMF





© PHOTOOTHÈQUE BALINEAU

14

14- Descente en cours du gabion vers le fond du fleuve à une profondeur de 20 m.

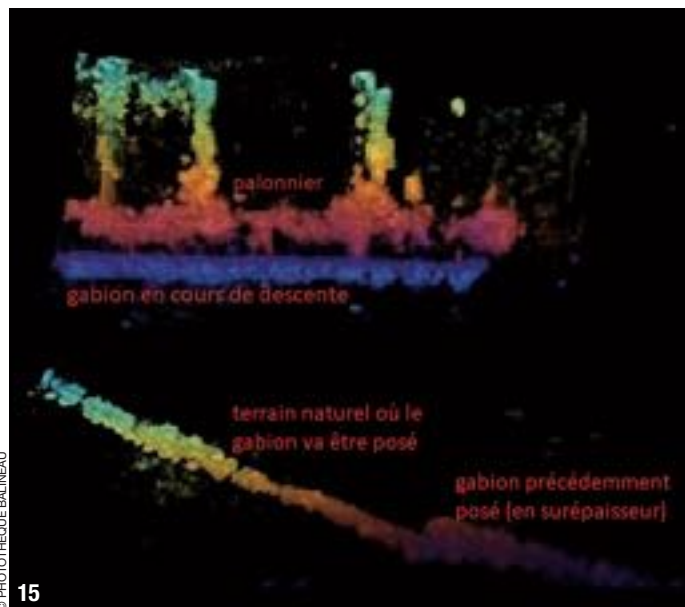
15- Suivi en temps réel de la descente du gabion avec la caméra acoustique 3D.

16- Transmission des informations par l'hydrographe pour ajuster le positionnement du gabion.

14- Gabion being lowered to the bottom of the river at a depth of 20 metres.

15- Real-time monitoring of gabion lowering by 3D acoustic camera.

16- Transmission of information by the hydrographer to adjust the gabion's positioning.



© PHOTOOTHÈQUE BALINEAU

15



© PHOTOOTHÈQUE SUB-C. MARINE

16

avec le sens de la marée pour les passages sous le pont, marnage de 5 m, présence d'un équipement de test d'hydroliennes à proximité immédiate des travaux, maintien de l'activité fluviale (avec notamment le passage des barges Airbus).

### UN CHANTIER MARQUÉ PAR UNE SYNERGIE EFFICACE ENTRE LE GROUPEMENT D'ENTREPRISES, LE MAÎTRE D'ŒUVRE ET LA MAÎTRISE D'OUVRAGE

Toutefois le chantier a pu s'enchaîner de façon optimale tant en termes qualitatifs que de précision de pose et de respect des délais.

Une des clés du bon déroulement du chantier fut l'énergie consacrée à sa préparation avec notamment la conception du portique de pose des gabions et l'optimisation des méthodes de travail. C'est d'autant plus fondamental pour des travaux novateurs de ce type. Contribuer à la préservation d'un ouvrage historique emblématique de Bordeaux est également source de motivation pour l'ensemble des équipes particulièrement impliquées tout au long de l'intervention.

Il est vrai que l'opération de réparation de la carapace sous fluviale a nécessité plusieurs années de préparation : élaboration des marchés, diagnostics, investigations. Comme a pu le souligner le responsable de la maîtrise d'ouvrage : « ce chantier multi acteurs constitue une prouesse technique, ▽



17

© PHOTOTHÈQUE BALINEAU



18

© PHOTOTHÈQUE ROMOEUF

compte tenu de la taille des gabions et du contexte particulier de la Garonne. Enfin il faut souligner le travail de tous : services de la métropole, comité technique, entreprises comme maîtrise d'œuvre dans des conditions difficiles. Au-delà du constat de bonne fin des travaux et de la satisfaction d'avoir contribué à la réparation d'un des plus beaux ponts du patrimoine national, il y a un sentiment collectif d'avoir participé à un véritable challenge humain ». Et la maîtrise d'œuvre d'ajouter : « La difficulté principale de ce chantier phare a été la mise en œuvre d'un dispositif de contrôle adapté aux conditions fluvio-maritimes complexes de la Garonne à Bordeaux, l'ensemble des travaux étant réalisés sous eau, à la marée et sans visibilité, de par la forte turbidité de l'eau. Aussi, différentes techniques de suivi ont été utilisées en parallèle, contrôle plongeur, suivi bathymétrique et suivi en temps réel par caméra acoustique 3D, pour assu-

**17- Immersion du scaphandrier dans les eaux turbides du fleuve.**

**18- Contact radio entre le scaphandrier et la surface.**

**17- Diver immersion in the turbid waters of the river.**

**18- Radio contact between diver and surface.**

rer la précision de pose des filets et des gabions. La qualité des échanges et la forte mobilisation de l'ensemble des intervenants a permis la réussite du chantier ». □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

- 157 gabions de 12x12x0,5 m pour une surface de 22 500 m<sup>2</sup>
- Environ 20 000 t de blocs de diorite 90/180 mm pour le remplissage des gabions
- 1 200 filets emmaillotés de 2,5 à 4 t
- Environ 5 000 t de bloc de diorite 40/200 mm pour le remplissage des gabions

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Bordeaux Métropole, Service Ouvrages D'Art

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Antea

**GROUPEMENT ATTRIBUTAIRE DES TRAVAUX :** Balineau SAS (mandataire), Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux (ETMF), Vinci Construction Maritime et Fluvial (VCMF)

**SOUS-TRAITANTS :** Romoeuf pour les travaux de plongée,

Sub-C Marine pour les bathymétries et contrôles par caméra acoustique,

Casagac pour les calculs de stabilité des gabions

**EFFECTIF DU CHANTIER :** une quarantaine de personne

**MONTANT DES TRAVAUX :** 12,2 M€ HT

### ABSTRACT

## GABIONS PROTECTING THE PIERS OF THE STONE BRIDGE IN BORDEAUX

SÉBASTIEN GUILLEMOTEAU, BALINEAU - JOSSE PROVOST, ETMF - NICOLAS CARPENTIER, ANTEA - MOHAMED MARIKO, BORDEAUX MÉTROPOLE

**Consolidation of the under-river embankments of the Bordeaux stone bridge** has been completed after one year's work. It was carried out by the consortium formed by Balineau (leader), Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux and Vinci Construction Maritime et Fluvial, for the client Bordeaux Métropole, with project management performed by Antea. The stability of this historic bridge is threatened by the formation of scours and pits around the piers. An initial multiple-beam survey made it possible to produce a 3D model defining the layout of the protective devices: 2.5- to 4-tonne nets to create a uniform support base and 12x12x0.5m gabions prepared at the Balineau depot downstream of the bridge. The nets were laid using a floating crane, while the gabions, of unit weight more than 120 tonnes, were placed by a U-shaped floating gantry crane fitted with a hydraulic lifting beam, designed and manufactured specially for the project. Installation was monitored by teams of divers with a 3D acoustic camera. □

## LOS GAVIONES DE PROTECCIÓN DE LOS PILOTES DEL PUENTE DE PIEDRA DE BURDEOS

SÉBASTIEN GUILLEMOTEAU, BALINEAU - JOSSE PROVOST, ETMF - NICOLAS CARPENTIER, ANTEA - MOHAMED MARIKO, BORDEAUX MÉTROPOLE

**El refuerzo de los taludes subfluviales del puente de piedra de Burdeos** ha concluido tras un año de obras, llevadas a cabo por el consorcio formado por Balineau (mandatario), Eiffage Travaux Maritimes et Fluviaux y Vinci Construction Maritime et Fluvial. Antea ha asumido la dirección técnica del proyecto, impulsado por Bordeaux Metropole. La erosión y los fosos aparecidos alrededor de los pilotes amenazaban la estabilidad de este puente histórico. Un levantamiento multihaz inicial ha permitido realizar una maqueta en 3D para definir los detalles de las protecciones: mallas de 2,5 a 4 t para homogeneizar el terreno de apoyo y gaviones de 12x12x0,5 m confeccionados sobre el depósito de Balineau, río abajo del puente. Las mallas se han colocado mediante un pontón-grúa y los gaviones, de un peso unitario de más de 120 t, utilizando un pórtico-grúa en U provisto de una viga elevadora hidráulica, diseñado y fabricado específicamente para esta obra. El seguimiento de la instalación se ha llevado a cabo con la ayuda de equipos de buzos y una cámara acústica en 3D. □





1  
© PANORAMIC BRETAGNE / RÉGION BRETAGNE

# DIGUE D'ENCLÔTURE DU NOUVEAU POLDER DU PORT DE BREST EN GABIONS DE PALPLANCHES

AUTEURS : PIERRE SIMONIN, DIRECTEUR TECHNIQUE STRUCTURES, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE - ANTOINE ABOUD, RESPONSABLE D'ÉQUIPE, SETEC TERRASOL - TONY ROBERT, DIRECTEUR DU CHANTIER, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE - NICOLAS LOUBLY, RESPONSABLE COMMERCIAL, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE - PIERRE-YVES VANZO, DIRECTEUR DE PROJETS PORTUAIRES, SETEC INTERNATIONAL

**LES OUVRAGES EN GABIONS DE PALPLANCHES PLATES OU " GABIONNADES " COMPOSÉS D'UNE SUCCESSION D'ENCEINTES CIRCULAIRES OU PLURILOBÉES DE PALPLANCHES, SONT COURANTS POUR LES OUVRAGES MARITIMES RÉALISÉS À L'INTERNATIONAL. EN FRANCE, CE TYPE DE RÉALISATION EST PEU RÉPANDU. SA COMPATIBILITÉ AVEC LA PRÉSENCE DE SÉDIMENTS VASARDS ET SA GÉOMÉTRIE COMPACTE ONT PERMIS DE RÉALISER À BREST UNE DIGUE DE 860 m EN ALTERNATIVE À LA DIGUE EN REMBLAI PRÉVUE AU MARCHÉ.**

Le projet de développement du Port de Brest, porté par la Région Bretagne, répond à deux besoins :

- Maintenir la compétitivité du port de commerce en améliorant les accès nautiques par l'approfondissement du chenal et des souilles des quais vracs agro-alimentaires et conteneur.
- Favoriser l'émergence de nouvelles filières industrielles en créant, sur un polder de 14 ha gagnés sur la mer en réutilisant les produits issus du dragage, un nouveau terminal doté d'un quai lourd adapté aux activités de la filière EMR (Énergies Marines Renouvelables).

Douze marchés de travaux, maritimes et terrestres, sont prévus pour mener à terme en 2020 ce projet de 220 millions d'euros où le groupement Bouygues Travaux Publics Régions France (mandataire), Pigeon Bretagne Sud, Lizard, Stpa, Sodracco est en charge du marché consistant à réaliser la digue d'enclosure à l'arrière de laquelle seront stockés 1 200 000 m<sup>3</sup> de sédiments issus des dragages de la souille du nouveau quai, des chenaux et des souilles existantes.

La géologie dans le secteur du port de Brest est constituée de formations alluvionnaires récentes de faciès vasards

**1 - Vue d'ensemble des outils terrestres et des moyens nautiques d'approvisionnement et de stockage.**

**1 - General view of the land facilities and floating equipment for procurement and storage.**

d'une dizaine de mètres suivis d'un substratum schisteux présentant des franges très fracturées en surface. L'horizon vaseux se compose de vases et maërls avec des débris coquilliers en surface, de vases sablo-argileuses en profondeur et de sables vasards au niveau de la transition avec le substratum.

Cet horizon est principalement caractérisé par des teneurs en fines et en eau élevées ainsi qu'une forte compressibilité induisant des tassements de consolidation primaires et secondaires importants sous l'action du remblaiement du futur polder.

La solution retenue consiste à créer la digue en maintenant les vases en place.

La structure de la digue est composée de cellules circulaires de palplanches plates recouvertes côté mer par un talus en carapace. La mise en place de cette structure s'accompagne d'une accélération de la consolidation des vases moyennant un drainage vertical. Grace à un profil optimisé dont une face

**2- Superposition du profil réalisé et du projet initial (en rouge).**

**3- Actions dimensionnantes et mécanismes de rupture étudiés.**

**2- Superposition of the as-built profile and the initial plan (in red).**

**3- Critical design measures and failure mechanisms studied.**

intérieure verticale, la solution retenue permet l'économie de 500 000 m<sup>3</sup> de matériaux de carrière (et leur livraison par camions) ainsi que l'augmentation du volume de stockage à l'intérieur du nouveau polder. L'emprise au sol de l'ouvrage, réduite de moitié, ainsi que le confinement des matériaux dans les gabions, permettent de diminuer le risque de remise en suspension des vases in-situ (figure 2).

**CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT**

Les textes règlementaires des Eurocodes et des normes d'applications nationales ont été appliqués dans le cadre des études d'exécution avec l'application des approches de calcul 2 et 3 de l'EC7. La justification du dimensionnement de la digue consiste à vérifier la stabilité du gabion, son intégrité structurale et la stabilité du talus en enrochement. L'interaction entre les deux ouvrages est prise en compte ; le gabion mobilisant une partie de la butée disponible du talus.

La gabionnade est dimensionnée pour reprendre les actions dues à la poussée des terres, le différentiel d'eau entre le polder rempli et la mer, la houle, les surcharges d'exploitation de 40 kPa en zone courante et de 100 kPa au droit de la plateforme du quai lourd (figure 3). À titre d'exemple, les niveaux d'eau à reprendre correspondent aux niveaux extrêmes notamment pour la phase définitive avec un niveau bas côté mer sur une période de retour de 50 ans établi à +0,085 m CM et un niveau coté polder à +5,13 m CM soit un différentiel de charge hydraulique de 5 m (l'amplitude de marée à Brest pouvant aller jusqu'à 7,93 m).

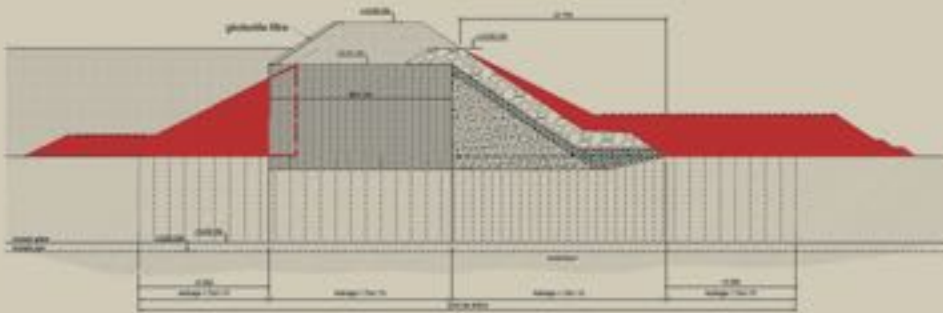
La définition des hypothèses géotechniques est à la base des études d'exécution. L'analyse des résultats des nombreuses campagnes de reconnaissance terrestres et nautiques ont permis de caractériser les sols en place après exploitation des essais in-situ et en laboratoire.

La vérification de l'ouvrage tient compte des différents mécanismes de rupture pouvant se développer dans la structure. Une maille élémentaire formée par un gabion et un feston est représentée par un ouvrage linéaire de largeur équivalente ( $B_{eq}$ ). La stabilité externe du gabion assimilé à un mur poids de largeur  $B_{eq}$  est vérifiée en assurant le niveau de sécurité règlementaire sur le glissement, la portance et l'excentrement.

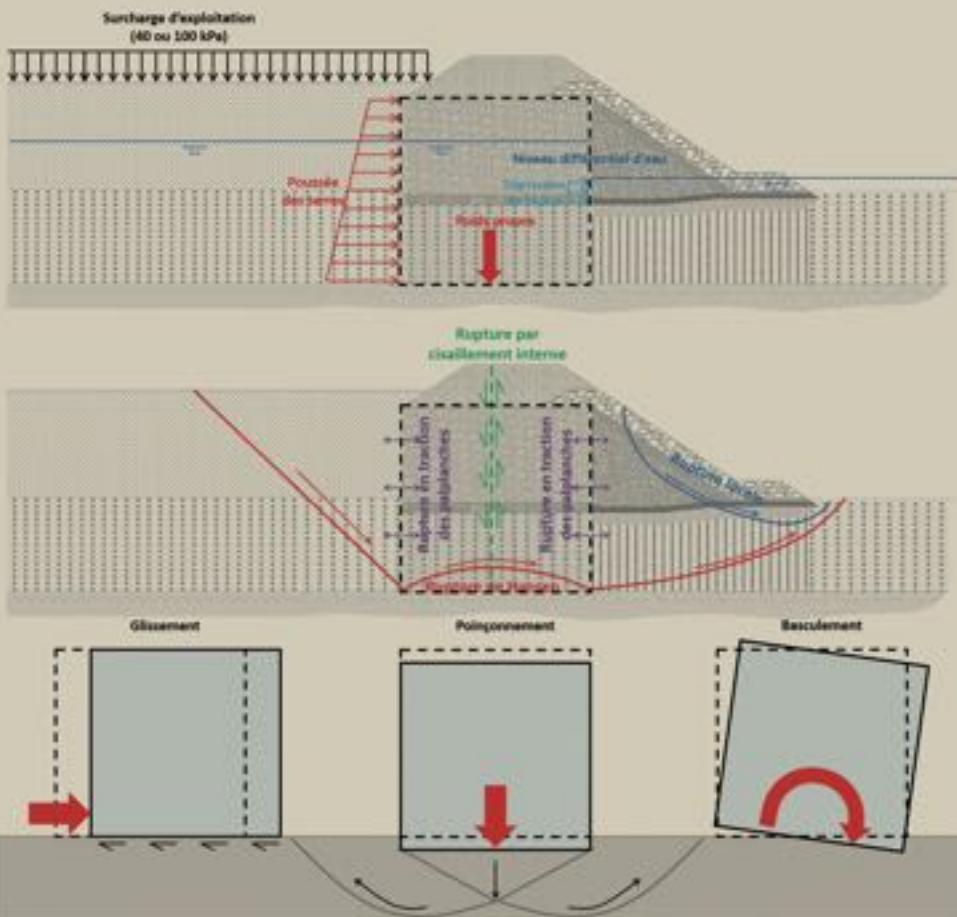
Les mécanismes particuliers aux structures de gabions en palplanches faisant partie d'une stabilité appelée interne sont également vérifiés. Cela concerne les ruptures par cisaillement vertical, par rupture du massif de sol intérieur (Brinch-Hansen), rupture à la traction des palplanches et dégrafage des serrures.

La stabilité étudiée avec le logiciel Talren est vérifiée par un calcul à la rupture présentant des surfaces de rupture de type spirales logarithmiques se développant entre les pieds du gabion. ▽

SUPERPOSITION DU PROFIL RÉALISÉ ET DU PROJET INITIAL (en rouge)



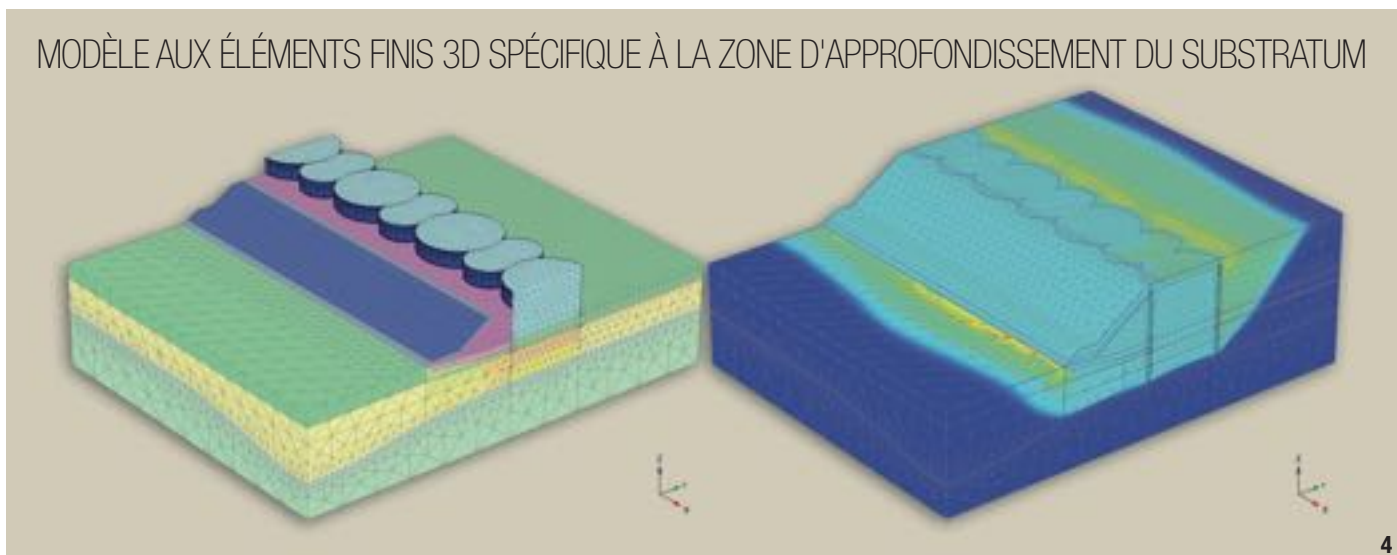
ACTIONS DIMENSIONNANTES ET MÉCANISMES DE RUPTURE ÉTUDIÉS



© BOUYGUES TP-RF

© SETEC-TERRASOL

## MODÈLE AUX ÉLÉMENTS FINIS 3D SPÉCIFIQUE À LA ZONE D'APPROFONDISSEMENT DU SUBSTRATUM



4

© TERRASOL

Les études menées intègrent la consolidation des vases à l'intérieur des gabions, sous le talus et sous le polder, accélérée par la mise en place de drains verticaux sur la hauteur des sédiments avec des phases de consolidation intermédiaires et phase de préchargement. Le planning des travaux intègre des périodes d'attente permettant une augmentation de la résistance non drainée des couches de vases à la base du talus. La contrainte horizontale appliquée sur les parois du gabion est obtenue par un modèle aux coefficients de réactions avec le logiciel K-Réa. Le modèle représente le système gabions/festons par deux rideaux équivalents et permet d'obtenir les contraintes sur les parois de palplanches côté mer et côté terre. Ces contraintes horizontales permettent le calcul de la traction sur toute la hauteur des palplanches.

La vérification du talus à carapace composé de couches de noyau, de filtre et d'enrochement sur une base de matériau drainant a permis de valider sa géométrie. La montée du talus en phase provisoire est décomposée en trois étapes afin d'assurer une sécurité suffisante sur la portance et la stabilité globale à court terme. La consolidation permettant une augmentation de la cohésion non drainée à chaque phase de montée. La butée mobilisable du talus ou la poussée pour les différentes étapes sont évaluées par un calcul à la rupture et intégrées dans les calculs de stabilité.

Une zone d'approfondissement du toit du substratum a nécessité dans le cadre des études le recours à une modélisation développée aux éléments finis en 3D en complément des justifications précédentes. Le modèle repré-

sentant 4 gabions et 3 festons correspondant à la zone de variation a permis de vérifier la stabilité globale et locale du talus ainsi que le niveau de sollicitation dans les palplanches. Les résultats confirment que la traction admissible est respectée (figure 4).

### RÉALISATION DE LA DIGUE

À la suite d'une campagne de reconnaissances pyrotechniques complémentaire, les premiers travaux ont consisté à poser par voie nautique plus de 415 km de drains dans les couches sablo-vasardes au droit de l'ouvrage. Leur maillage, qui fixe la durée de consolidation des vases, est contraint par le planning et le respect de ses délais partiels.

**4- Modèle aux éléments finis 3D spécifique à la zone d'approfondissement du substratum.**

**5- Vue en plan de la digue d'enclôture.**

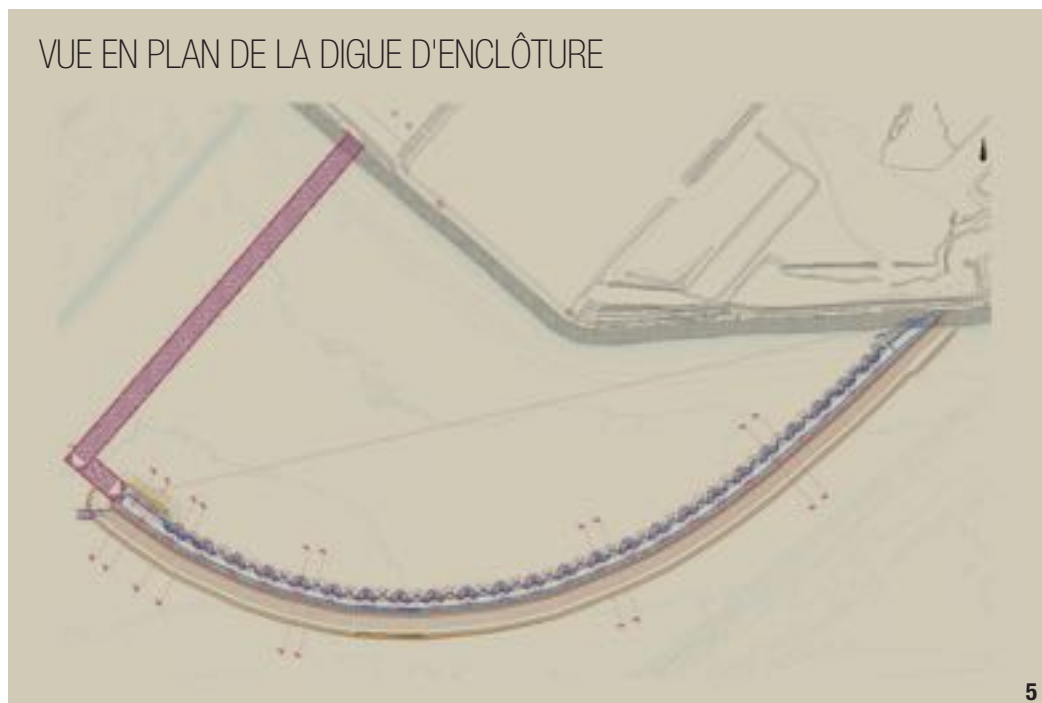
**4- Specific 3D finite element model for the substratum deepening area.**

**5- Plan view of the enclosing dyke.**

La mise en œuvre de palplanches au travers de la carapace en enrochement existante étant à proscrire, l'amorce de la nouvelle digue est réalisée en remblai et le premier gabion est implanté au-delà du pied de la digue actuelle. Le calepinage exact de tous les gabions et festons est dicté par la position du dernier gabion qui se raccorde au quai lourd (réalisé dans le cadre d'un autre lot) ainsi que par la courbure générale de l'ouvrage (figure 5).

Pour s'affranchir des problématiques de marnage et de houle, le chantier privilégie les travaux terrestres réalisés depuis une estacade provisoire et limite l'utilisation des moyens nautiques aux seules opérations de guidage des

## VUE EN PLAN DE LA DIGUE D'ENCLÔTURE



5

© TERRASOL



© MARC JOSSE  
6

tubes, approvisionnement et stockage des palplanches, tubes d'estacade et guides de battage (figure 1).

Les palplanches sont livrées par bateau et stockées sur le 5<sup>e</sup> quai Est du port de commerce de Brest. Elles sont approvisionnées à pied d'œuvre par un ponton dont la capacité permet le chargement de la totalité des palplanches nécessaires à la réalisation d'un gabion et de son feston. Chaque gabion, de 21,14 m de diamètre, composé de 132 palplanches plates de 50 cm de largeur (type AS-500 épaisseur 12,5 mm), et de longueur variable entre 20,10 m et 33,50 m, est réalisé à l'aide d'un guide de battage circulaire à double niveau (figure 6).

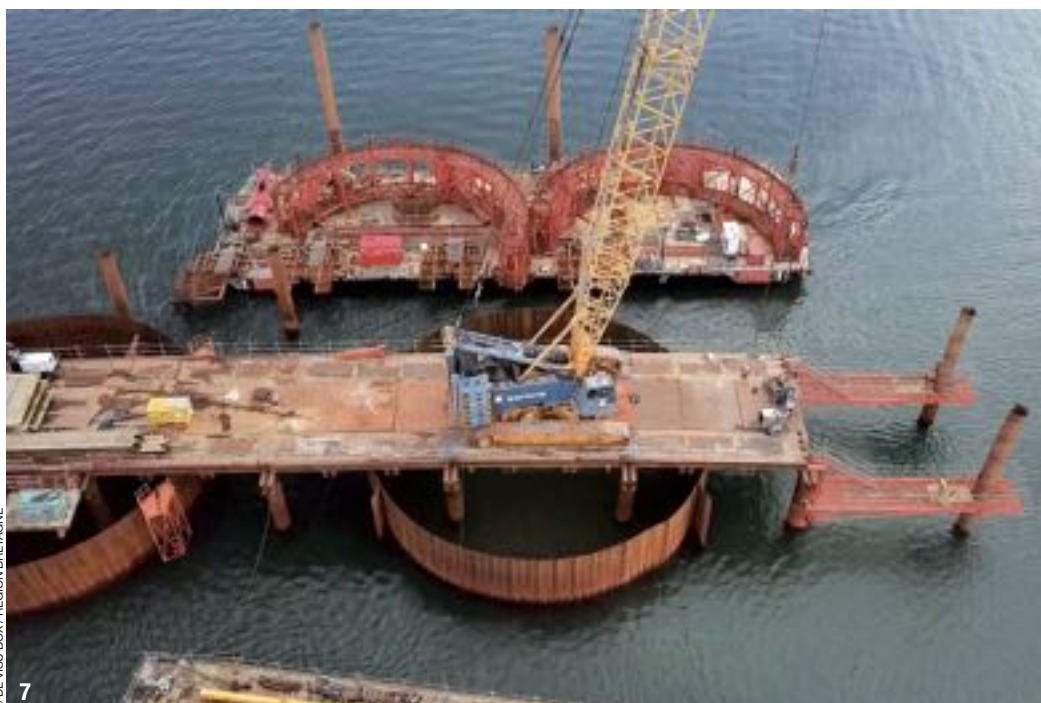
**6- Guide de battage des gabions.**

**7- Vue de l'estacade.**

**6- Gabion pile driving guide.**

**7- View of the jetty.**

Cet outil, spécialement conçu pour le chantier est réalisé en deux parties pour en faciliter la manutention et le levage. Stocké entre deux utilisations sur un ponton, il est manutentionné à l'aide d'une grue treillis à chenilles de 280 t de capacité et posé sur un platelage d'estacade reposant sur deux chevêtres prenant appuis sur 4 tubes provisoires de 914 mm de diamètre battus au refus dans le substratum schisteux. Les palplanches sont mises en œuvre avec un vibrofonçeur 24HFV ou 30HV (PTC) puis sont recépées en tête à la cote +8,60 m CM. Afin de ne pas endommager les gabions et festons qui demeurent fragiles avant d'être remblayés, l'équilibrage du niveau de l'eau



© DE VISU BOX / RÉGION BRETAGNE  
7

entre l'intérieur et l'extérieur, soumis au marnage pouvant aller jusqu'à 7,93 m, est opéré via une palplanche provisoire percée en bas de la colonne d'eau et qui est remplacée par une palplanche standard juste avant la réalisation du remblai. Les travaux sont réalisés par des équipes postées du lundi matin au samedi après-midi.

À la façon d'un tapis roulant, l'estacade provisoire qui permet la réalisation des 26 gabions et 25 festons progresse par le démontage successif de sa partie arrière et son remontage à l'avant. Les éléments constitutifs des 140 m d'estacade sont ainsi déposés puis reposés à l'avancement 7 fois pour réaliser les 860 m de digue courbe. Trois éléments principaux composent l'estacade (figure 7).

**Les pieux métalliques :** battus au refus dans le schiste avec un marteau hydraulique SX60, ils permettent la fondation dans le substratum. En fin de cycle, ils sont tous déposés à l'aide du vibrofonçeur 24HFV ou 30HV pour être réemployés. La géométrie et le calepinage de l'estacade sont conçus pour que les tubes ayant servi au supportage du guide de battage des gabions soutiennent dans un second temps l'estacade. L'implantation précise des tubes est assurée par un triple guide de battage, monté sur vérins, intégré au ponton servant au stockage du guide de gabion.

**Les chevêtres :** ils coiffent les tubes et sont bloqués en tête par un système de brèlage. Les pieux munis de leur chevêtre fonctionnent à la manière d'un portique encasté en pied et en tête.

**Les platelages :** composés d'ensembles de 11 m de longueur, pourvus de profilés en rive et de trappes amovibles au centre, reposent à leurs abouts sur les chevêtres et leurs extrémités en peigne permettent de maintenir une surface de circulation continue tout en absorbant la courbure de l'ouvrage (figure 8).

Dès que deux gabions successifs sont réalisés, une seconde grue treillis à chenilles, d'une capacité de 130 t, met en œuvre les palplanches des festons à l'aide d'un guide semi-circulaire prenant appui sur les premières palplanches déjà mises en œuvre ainsi que sur l'estacade. Chaque arc de feston est composé de 35 palplanches, dont 4 sont pliées d'usine en leur centre avec un angle de 6° afin de respecter le rayon de courbure qu'impose la géométrie de l'ouvrage ainsi que les limites du jeu admissible dans les serrures.



Les extrémités se raccordent aux gabions via des palplanches spéciales profilées en Y, dont le positionnement a été soigneusement implanté lors de la réalisation des gabions (figure 9). Le remblai de la gabionnade évolue au même rythme d'avancement. Une épaisseur de 1 m de sable de "capping" est préalablement déposée dans les alvéoles, en recouvrement des vases, afin de limiter leur remise en suspension, le remplissage en matériaux de carrières locales est ensuite réalisé jusqu'en tête des palplanches par un échelon de 4 à 6 tombereaux de 40 t via les trappes aménagées à cet effet dans la partie centrale de l'estacade (figure 10).

Une pelle hydraulique de 50 t procède au régalage des matériaux et s'assure de leur bonne répartition. La surverse de l'eau se fait par une palplanche perforée en tête, débouchant dans le feston suivant, permettant la décantation, et ainsi, la maîtrise de l'émission de Matières En Suspension (MES). Ce même feston sera à son tour remblayé à la fin du remplissage des deux gabions qui l'encadrent.

La digue en enrochements qui vient épauler la gabionnade côté mer est entièrement réalisée depuis la piste créée en tête de celle-ci. Un échelon de terrassement, composé de tombereaux et pelles hydrauliques à grandes géométries se charge de la mise en œuvre à l'avancement du noyau, de la couche filtre et de la carapace (figure 11).

Le phasage de réalisation s'adapte aux calculs de consolidation et de préchargement, aussi plusieurs phases intermédiaires sont respectées avant d'atteindre la côte finale de la carapace à +10,50 m CM. Dans la mesure où l'écosystème de la rade de Brest est très sensible, avec une forte activité de pêche et de conchyliculture et la présence immédiate aux abords du chantier de la prise d'eau de mer des aquariums d'Océanopolis, un suivi de la turbidité est effectué en temps réel par plusieurs bouées de mesures. En cas

de dépassement de seuils prédéfinis, les travaux sont ralentis, voire arrêtés. La démarche environnementale, prégnante dans ce projet, intègre également un volet d'éco-conception. L'intégration dans la carapace de la digue d'une centaine d'éco-blocs cubiques de 11 t, conçus par Setec In-Vivo et préfabriqués en béton sur le chantier, permettra la rétention d'eau à plusieurs niveaux de marée, la fixation et le développement de la biodiversité sur le béton désactivé qui tapisse en partie ses faces internes (figure 12). Ce dispositif fera l'objet d'un suivi sur plusieurs années afin d'en évaluer l'efficacité.

#### FERMETURE DE LA DIGUE

Au terme de ses 860 m, la gabionnade viendra se refermer sur le quai lourd réalisé par le groupement Vinci Construction Maritime et Fluvial. Deux serrures de palplanches, soudées pour l'une au dernier gabion de la digue et à

**8- Terminaison en peigne des platelages de l'estacade.**

**9- Palplanche en Y pour la jonction gabion-feston.**

**10- Remblai d'un gabion réalisé à travers une trappe de l'estacade.**

**8- Comb-shaped end of jetty decking.**

**9- Y-shaped sheet piling for gabion-festoon connection.**

**10- Gabion back-filling performed through a hatch in the jetty.**

l'extrémité du double combiwall tirant pour l'autre, permettront la mise en œuvre de 2 rideaux de 6 palplanches venant par recouvrement de l'un avec l'autre fermer la digue du nouveau polder au droit du quai.

Cette jonction nécessite de réduire les vitesses des courants de remplissage et de vidange de l'enceinte du nouveau polder lors du flot et du jusant. Pour ce faire, l'amorce en remblai de la gabionnade sera au préalable sapée temporairement (la circulation en crête de digue sera maintenue par la mise en œuvre ponctuelle d'une estacade). Cette brèche sera la principale voie d'équilibrage des deux masses d'eau. À la suite du raccordement de la digue sur le quai à l'aide de palplanches et remblai, au profit de faibles coefficients de marées, l'enceinte sera définitivement refermée en remontant rapidement le remblai à la naissance de la digue au droit du polder existant.







11

© BOUYGUES TP RF



12

**11- Réalisation de la digue en enrochements.**

**12- Banc de préfabrication des éco-blocs.**

**11- Rockfill dyke construction.**

**12- Eco-Block prefabrication bench.**

Le cahier des charges prévoit le refoulement par un autre lot des produits de dragage jusqu'à la cote +13,50 m CM à l'arrière de la digue au second semestre de l'année 2019. Aussi, un préchargement sera réalisé sur le sommet de la gabionnade jusqu'à la cote +13,50 m CM pendant les derniers mois du planning qui en comporte 27 (dont 3 mois de préparation) et 95 % de la consolidation des sols sous l'ouvrage devront être atteints à minima lors de la livraison. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**MONTANT DES TRAVAUX : 39882134,50 € HT**

**PALPLANCHES AS 500 ÉP.12,5 mm ET RACCORDS SPÉCIAUX : 10000 t**

**DRAINS (MEBRADRAIN MD7007) : 36000 u**

**SABLE 0/10 mm POUR LE CAPING À L'INTÉRIEUR DES GABIONS : 29500 t**

**GNT POUR LE REMPLISSAGE DES GABIONS, DES FESTONS ET DU NOYAU DE LA DIGUE : 650000 t**

**ENROCHEMENTS POUR LA RÉALISATION DE LA COUCHE FILTRE DE LA DIGUE ET DE SA CARAPACE : 115000 t**

**ÉCO-RÉCIFS EN BÉTON ARMÉ (MASSE UNITAIRE 11 t) : 100 u**

**STRUCTURES PROVISOIRES (ESTACADE, GUIDES, ...) : 1900 t**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Région Bretagne**

**MAÎTRE D'ŒUVRE : Egis Ports**

**ASSISTANTS AU MAÎTRE D'OUVRAGE : Artelia (OPC), Safege (Environnement), Bureau Veritas (SPS)**

**GROUPEMENT : Bouygues Travaux Publics Régions France (mandataire), Pigeon Bretagne Sud, Liziard, Stpa, Sodrac**

**ÉTUDES D'EXÉCUTION : Setec International / Terrasol**

**CONTRÔLE EXTERNE : Seco**

**DRAINS : Cofra**

**FOURNITURE DES PALPLANCHES : ArcelorMittal**

**FOURNITURE DES MATÉRIEAUX DE CARRIÈRE : Lagadec (carrières Prigent), Stpa (carrière Guena)**

## ABSTRACT

### ENCLOSING DYKE FOR THE NEW POLDER IN THE PORT OF BREST IN SHEET PILING GABIONS

PIERRE SIMONIN, BOUYGUES TP RF - ANTOINE ABBOUD, SETEC TERRASOL - TONY ROBERT, BOUYGUES TP RF - NICOLAS LOUBLY, BOUYGUES TP RF - PIERRE-YVES VANZO, SETEC INTERNATIONAL

As part of the development of the Port of Brest, the consortium led by Bouygues Travaux Publics Régions France is constructing the dyke for the future 14-ha polder. A semi-arc of circle, consisting of 26 circular gabions of flat AS-500 sheet piling, 860 metres long, is being created from a removable jetty to overcome nautical constraints insofar as possible. After filling the gabions with quarry materials, a rockfill dyke completes the system, supported on the metal structure. This structure, rare in France, holds in position the 10 metres of compressible sludge present under the structure, in accordance with the project's very strict technical and environmental constraints. □

### DIQUE DE CONTENCIÓN DEL NUEVO PÓLDER DEL PUERTO DE BREST CON GAVIONES DE TABLESTACAS

PIERRE SIMONIN, BOUYGUES TP RF - ANTOINE ABBOUD, SETEC TERRASOL - TONY ROBERT, BOUYGUES TP RF - NICOLAS LOUBLY, BOUYGUES TP RF - PIERRE-YVES VANZO, SETEC INTERNATIONAL

En el marco del desarrollo del puerto de Brest, el consorcio dirigido por Bouygues Travaux Publics Régions France está construyendo el dique del futuro polder de 14 ha. Se ha creado un semi-arco de círculo, formado por 26 gaviones circulares de tablestacas planas AS-500, de 860 m de longitud, desde una estacada amovible para evitar al máximo las restricciones náuticas. Tras rellenar los gaviones con material de cantera, un dique de contención completa el dispositivo, apoyado en la construcción metálica. Esta estructura, poco frecuente en Francia, permite mantener inalterados los 10 m de fangos compresibles presentes bajo la construcción, respetando las muy estrictas restricciones técnicas y medioambientales del proyecto. □



1  
© BOLLORÉ

# EXTENSION DU TERMINAL CONTENEUR DE FREETOWN, SIERRA LEONE

AUTEURS : ANTOINE ARDOIN SAINT AMAND, RESPONSABLE D'EXPLOITATION, EIFFAGE GÉNIE CIVIL MARINE - GIUSEPPE STEFANI, DIRECTEUR DE PROJET, BELLSEA - JEAN-MARC PERALTA, CHEF DE PROJET, RMT CLEMESSEY

**AFIN D'ACCROÎTRE LES CAPACITÉS DU TERMINAL CONTENEUR DE FREETOWN AU SIERRA LEONE, L'OPÉRATEUR FREETOWN TERMINAL LTD, FILIALE DE BOLLORÉ TRANSPORT & LOGISTICS, S'EST ENGAGÉ AUPRÈS DES AUTORITÉS LOCALES À CONSTRUIRE SUR LA MER UN QUAI ADDITIONNEL DE 270 m DE LONG AINSI QU'UNE AIRE DE STOCKAGE CONTENEURS DE 3,5 ha. LA CONCEPTION/CONSTRUCTION DE CETTE EXTENSION A ÉTÉ CONFIÉE AU GROUPEMENT EIFFAGE GÉNIE CIVIL/BELLSEA/RMT CLEMESSEY.**

Le Terminal Conteneur de Freetown, Sierra Leone, est exploité depuis 2010 par Freetown Terminal Ltd, filiale de Bolloré Transport & Logistics. Il comprend les quais 3 à 6 du Port de Freetown, pour une longueur totale de 707 m avec une capacité d'environ 90 000 EVP par an.

Dans le cadre de son accord de concession avec les autorités sierra-léonaises, Freetown Terminal Ltd a lancé la construction d'un quai additionnel de 270 m de long et de profondeur -13 m et d'une aire de stockage de conteneurs de 3,5 ha gagnés sur la mer à l'Ouest du terminal existant pour augmenter la capacité totale à 750 000 EVP (figures 2 & 3).

Le présent article porte sur la conception/construction de cette extension du quai et des terre-pleins.

Le contrat de conception/construction de cette extension sur la mer a été obtenu par Eiffage Génie Civil en août



2  
© BOLLORÉ

1- Terminal Conteneur de Freetown.

2- Image de synthèse du Terminal Conteneur de Freetown.

1- Freetown Container Terminal.

2- Synthèse image of the Freetown Container Terminal.

2016 en groupement conjoint avec Bellsea, filiale du groupe belge Deme, spécialisée dans le dragage maritime, et Rmt Clemessy, filiale du groupe Eiffage.

Bellsea était en charge de la campagne géotechnique, du dragage, du remblaiement hydraulique et d'une

partie de l'amélioration de sol tandis que Rmt Clemessy a réalisé l'ensemble des travaux électriques et qu'Eiffage Infrastructures s'est chargé de tous les autres travaux (réalisation du quai, de la structure de chaussée, des réseaux de drainage pluvial, de la protection anti-affouillement et du

génie civil des équipements électriques).

La durée des travaux pour la conception et la construction de ce terminal a été de 25 mois, avec un démarrage du chantier le 15 août 2016 et une livraison globale de l'ouvrage le 29 août 2018.

## VUE EN PLAN DU TERMINAL CONTENEUR DE FREETOWN

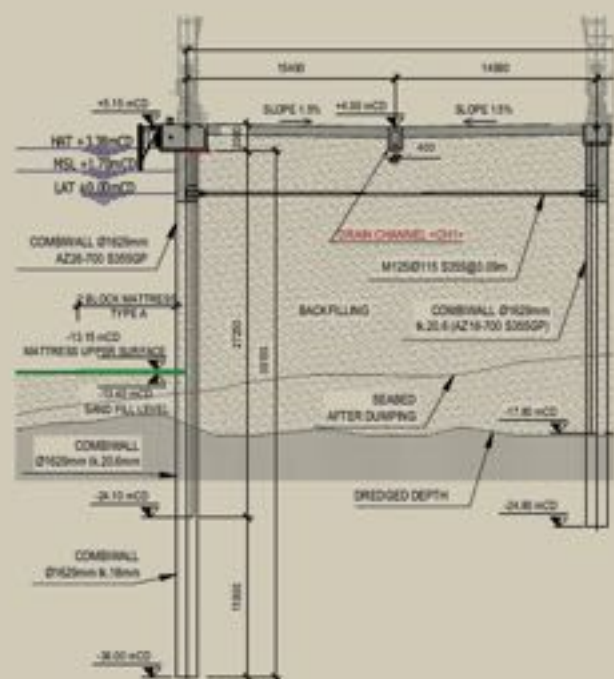


3



4

## STRUCTURE DU QUAI



5

3- Vue en plan du Terminal Conteneur de Freetown.

4- Vue en plan de l'extension.

3- Plan view of the Freetown Container Terminal.

4- Plan view of the extension.

5- Quay structure.

## LES PRINCIPALES ÉTAPES DE CE PROJET

### CHOIX DU DESIGN ET DES MÉTHODES D'EXÉCUTION

Le contrat étant en conception/construction, le choix du design a été proposé par le groupement. La conception a été pensée pour optimiser les coûts

mais aussi la durée d'exécution tout en tenant compte du contexte local. La réalisation du quai en double rideau combi-wall avec tirants horizontaux et du retour de quai en rideau combi-wall avec tirants inclinés a été préférée aux autres solutions techniques (quai à caissons, quai danois, etc.) afin de limiter au maximum les besoins en enrochements et/ou agrégats à béton, matériaux difficiles à approvisionner localement (les carrières de la région produisent peu et se trouvent loin du port de Freetown). Cette conception (figure 4) assure également une durée d'exécution plus courte.

En ce qui concerne le phasage des travaux, le port de Freetown étant situé dans l'embouchure du fleuve Sierra Leone avec des fonds plongeant rapidement, il n'était économiquement pas intéressant de démarrer le chantier par le remblaiement des terre-pleins pour permettre ensuite la réalisation du quai avec des moyens terrestres.

Le quai et le retour de quai ont donc été construits avec des moyens nautiques tandis qu'une digue en enrochement était construite en temps masqué au sud des terre-pleins afin de constituer une boîte qui a ensuite été remblayée avec du sable de mer.

### QUAI ET RETOUR DE QUAI

Le quai est constitué d'un rideau principal en pieux Ø 1629 mm à inertie variable - palplanches AZ26-700 et d'un rideau d'ancrage similaire connectés ensemble par des tirants horizontaux (figure 5).

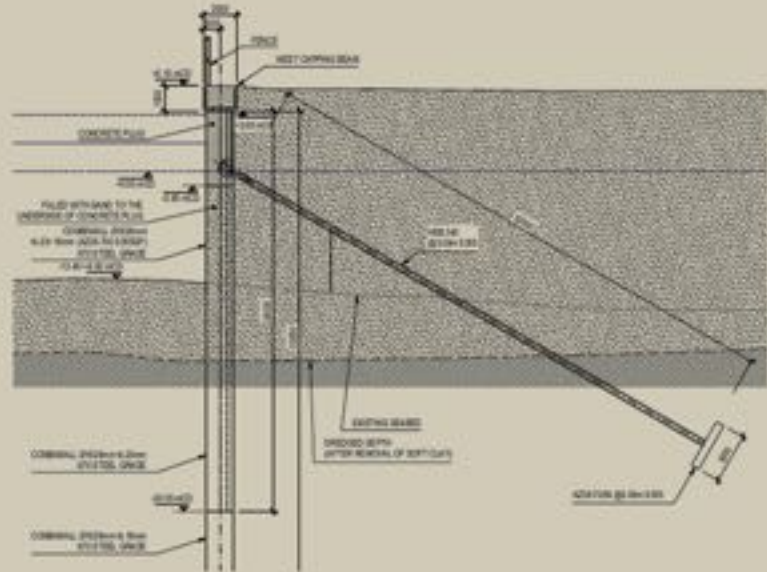
Afin d'optimiser la durée des travaux, la partie inférieure des bouchons en béton était préfabriquée et installée dans les pieux préalablement au remblaiement hydraulique pour reprendre les efforts des tirants horizontaux en phase temporaire (figure 6). La partie supérieure était bétonnée in-situ après le remblaiement hydraulique avec des moyens terrestres.

Le retour de quai est, quant à lui, constitué d'un rideau en pieux Ø 1629 mm - palplanches AZ26-700 et de tirants inclinés (HEB connectés aux pieux d'un côté et équipés d'un bout de palplanche de l'autre pour l'ancrage dans le sol). Cette conception permet d'éviter la mise en place d'un rideau d'ancrage pour retenir le rideau principal (figure 7). Les rideaux pieux - palplanches ont été mis en œuvre avec une grue 300 t positionnée sur un ponton modulaire, de deux vibreurs hydrauliques (CV-76 et SVR-50NF) et d'un marteau hydraulique S-90 (figure 8).



6

## STRUCTURE DU RETOUR DE QUAI



7

© EIFFAGE

Le choix d'un ponton modulaire avait été rendu possible par la faible hauteur des vagues (< 0,6 m) attendue dans la zone des travaux. Cependant, les équipes ont dû faire face à plusieurs épisodes agités, avec des hauteurs de vague dépassant 1 m, nécessitant l'arrêt temporaire des travaux.

Les pieux les plus imposants mesuraient 40 m de longueur et pesaient 32 t. Pour permettre un positionnement précis des pieux et palplanches, un guide de battage a été construit sur place permettant la mise en place de quatre pieux et palplanches par cycle.

Les pieux et palplanches étaient acheminés depuis le terminal existant jusqu'à l'atelier de battage par un ponton 55 m x 17 m déplacé par un remorqueur (figures 9).

Grâce à la modularité du ponton-grue, l'ensemble du set nautique (les deux pontons et la grue) a pu être mobilisé d'Europe en un seul convoi par le remorqueur de capacité 23 t *Bollard Pull* qui est resté ensuite sur le chantier pour les déplacements des pontons. Les tirants horizontaux ont été installés avec un ponton modulaire spécifique couvrant toute la largeur entre les deux rideaux du quai. Les tirants étaient assemblés sur ce ponton et descendus à leur niveau définitif avec des treuils manuels. Une équipe de plongeurs s'occupait de mettre en place les goujons pour les raccorder aux pieux. Les tirants inclinés étaient assemblés sur le quai existant (figure 10), transportés jusqu'au retour de quai avec un

ponton et mis à l'eau avec une grue. Ils étaient ensuite positionnés avec l'aide de plongeurs.

À noter que les déplacements du rideau du retour de quai (avec tirants inclinés) ont été plus faibles que ceux du rideau du quai principal (avec tirants horizontaux et rideau d'ancrage).

### REMBLAIEMENT HYDRAULIQUE

Afin de limiter les tassements des terre-pleins et pour assurer la stabilité de l'ouvrage, le fond marin a été

### 6- Bouchon en béton préfabriqué.

### 7- Structure du retour de quai.

### 8- Atelier de battage.

### 6- Precast concrete plug.

### 7- Quay return structure.

### 8- Pile driving equipment.

purgé des vases, sédiments et déchets présents dans l'emprise du futur terminal. Cette purge a été réalisée au début du chantier lors d'une première campagne de la drague aspiratrice en marche *Breydel*.

Les déchets ont été ramenés à terre afin de les évacuer en décharge tandis que les vases et sédiments ont été rejetés au large de Freetown, dans la zone autorisée par les autorités locales. Une fois le quai, le retour de quai et la digue Sud terminés, une seconde



8

© EIFFAGE



9

© EIFFAGE

campagne de la drague *Breydel* a permis le remblaiement hydraulique de la plateforme. Une attention particulière a été apportée à la séquence de remblaiement pour limiter les déplacements des rideaux combi-wall : l'espace entre les deux rideaux du quai a d'abord été remblayé avant de continuer avec les terre-pleins situés au sud du quai. De plus, la drague a dû être adaptée pour permettre le remblaiement malgré la présence des tirants horizontaux entre les deux rideaux du quai :

**9- Chargement des pieux et palplanches.**

**10- Assemblage des tirants inclinés.**

**9- Loading piles and sheet piling.**

**10- Assembly of inclined tie anchors.**

l'équipement pour le remblaiement par méthode dite *rainbowing* a été modifié pour projeter perpendiculairement à la drague le mélange de sable et d'eau via trois jets *side rainbowing* de plus faible intensité (figure 11).

Une fois le remblaiement hydraulique terminé, la plateforme a été vibroflottée à l'aide d'une grue à chenille équipée d'une double aiguille (figure 12) et d'une pelle excavatrice équipée d'une simple aiguille pour les zones les moins profondes.

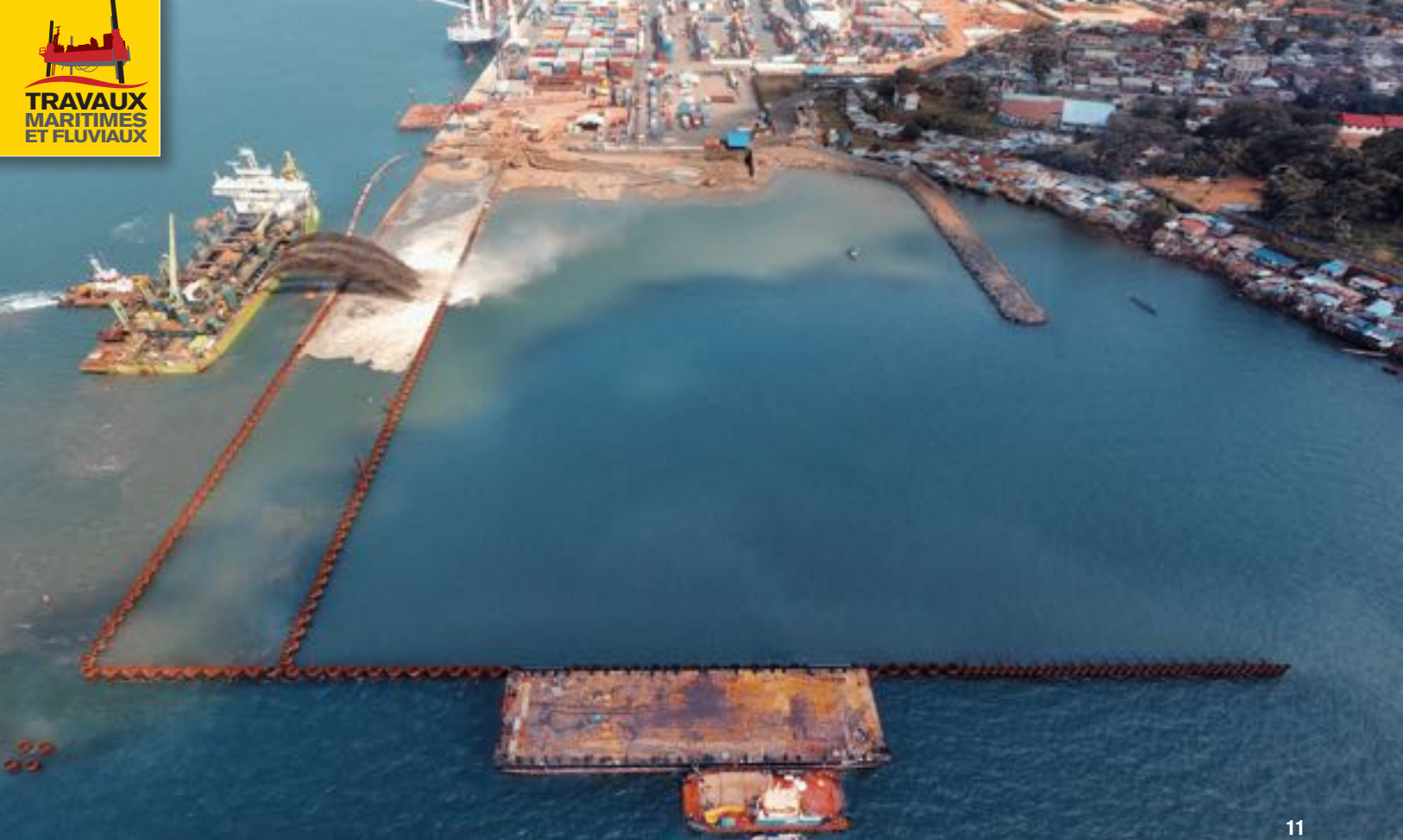
#### POUTRES DE COURONNEMENT

La méthode de réalisation des poutres de couronnement a été pensée pour optimiser les cadences de réalisation. Le coffrage des poutres était constitué de U en béton armé, préfabriqués en temps masqué. Une fois l'accès aux rideaux combi-wall rendu possible depuis la terre (après vibroflottation de la plateforme), les U préfabriqués étaient acheminés sur site et posés sur les rideaux combi-wall à l'aide d'une grue mobile de 60 t.



10

© EIFFAGE



11

© DEME

Après bétonnage des bouchons des pieux, les armatures étaient mises en place. Pour l'accès en sécurité et la fixation des inserts et négatifs, un équipage mobile a été spécialement conçu et construit par les équipes d'Eiffage (figure 13).

Les poutres ont été bétonnées par plots de 100 à 215 m<sup>3</sup>, pour un total de seize plots réalisés en quatre mois.

Le chantier disposait de sa propre centrale à béton, d'une capacité de 35 m<sup>3</sup>/h.

#### STRUCTURE DE CHAUSSÉE

La structure de chaussée est constituée d'une épaisseur de 58 cm de Matériau

Traité au Liant Hydraulique (MTLH), d'une couche de 3 cm de sable et de pavés de 13 cm de hauteur.

Une recycleuse de sol et l'atelier qui l'accompagne (niveleuse, compacteur...) ont été mobilisés pour la réalisation in-situ du MTLH (figure 14). La principale difficulté rencontrée a résidé dans l'approvisionnement des matériaux (ciment et granulats 0/31,5) : les importants besoins du chantier avaient du mal à être couverts par les fournisseurs locaux.

En ce qui concerne les pavés en béton, la fabrication de la totalité des pavés étant terminée avant le démarrage de la pose, le chantier n'a pas

connu de pénurie de ce côté-là. Il a par contre été confronté à l'absence de qualification de la main d'œuvre locale et a mis plusieurs semaines avant d'atteindre les cadences de pose attendues.

**11- Remblaiement hydraulique.**

**12- Vibroflotation.**

**13- Équipage mobile.**

**11- Hydraulic backfilling.**

**12- Vibroflotation.**

**13- Mobile rig.**

#### PROTECTION ANTI-AFFOUILLEMENT

À la fin de la campagne de remblaiement hydraulique, la drague a remis à niveau le fonds de la darse du quai afin d'obtenir le tirant d'eau requis après installation de la protection anti-affoulement.

La protection anti-affoulement a été conçue en tapis de blocs béton reliés



12

© EIFFAGE



13

© BOLLORE



entre eux par des cordes et sous lesquels était fixé un géotextile. Cette conception a permis de les fabriquer en propre, directement sur le quai (figure 15).

Ils étaient ensuite installés avec l'aide d'une grue portuaire et une équipe de plongeurs pour le positionnement.

**14- Recycleuse de sol.**

**15- Protection anti-affouillement.**

**14- Soil recycler.**

**15- Anti-scouring protection.**

#### EQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES

Le port ne disposant pas d'alimentation électrique extérieure, il a fallu mettre en place une source d'énergie autonome. Il s'agit d'une centrale thermique de 6 MVA, équipée de pièges à son et disposant de 4 groupes électrogènes, 2x2+2x1 MVA, alimentés par 4 cuves de 50 m<sup>3</sup>, dont deux de gasoil brut et deux de carburant traité par centrifugeage.

Le système est destiné à l'exploitation simultanée de deux portiques de déchargement de navires, chargés chacun à 60 t, et de la totalité des installations du port, dont 168 conteneurs réfrigérés.

Six mâts d'éclairage de 40 m de hauteur, également alimentés par la centrale thermique, sont équipés de 7 projecteurs de 2000 kW, d'un paratonnerre et d'une caméra de surveillance panoramique.

#### CONCLUSION

En conclusion, si ce projet a pu être livré dans les temps impartis par le contrat et conformément au cahier des charges de l'exploitant portuaire, c'est en premier lieu grâce à la conception particulièrement optimisée et aux méthodes d'exécution préparées bien en amont. Ce travail de préparation a permis de faire face aux différentes difficultés rencontrées telles que les aléas climatiques (en témoigne le glissement de terrain qui s'est produit le matin du 14 août 2017 à Freetown, suite aux pluies diluviennes des jours précédents), la nécessité pour Eiffage de former l'ensemble du personnel local au niveau technique et HSE (plus de 150 employés sierra-léonais embauchés) ou encore les pénuries en approvisionnement de ciment et d'agrégats.

En second lieu, le choix d'avoir limité au strict minimum le recours à la sous-traitance et d'avoir mobilisé ses propres engins de chantier et sa centrale à béton, a participé à la meilleure maîtrise de l'organisation des travaux

et, in fine, du planning. La réalisation de cet ouvrage a permis à l'opérateur Freetown Terminal Ltd de décharger un premier navire avec ses grues à portique de quai le 29 août 2018, une première au Sierra Leone. □

#### PRINCIPALES QUANTITÉS

**DRAGAGE : 260 000 m<sup>3</sup>**

**REMBLAIEMENT MARITIME : 650 000 m<sup>3</sup>**

**TUBES ACIER Ø 1 600 ET PALPLANCHES AZ27-700 : 8 000 t**

**BÉTON : 12 000 m<sup>3</sup>**

**ARMATURES ACIER : 1 350 t**

**ENROCHEMENT : 25 000 m<sup>3</sup>**

**CHAUSSÉE PORTUAIRE : 50 000 m<sup>2</sup>**

**CENTRALE ÉLECTRIQUE 6 MW : 1 F**

**COURANTS FORTS & FAIBLES / ÉCLAIRAGE PUBLIC : 1 F**

#### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Freetown Terminal Ltd**

**MAÎTRISE D'ŒUVRE INTÉGRÉE : Freetown Terminal Ltd**

**ASSISTANT MAÎTRISE D'ŒUVRE : Arcadis**

**ENTREPRISE : Eiffage Génie Civil - Bellsea - Rmt**

**FINANCEMENT : Groupe Bolloré**

#### ABSTRACT

### EXTENSION OF THE FREETOWN CONTAINER TERMINAL, SIERRA LEONE

ANTOINE ARDOIN SAINT AMAND, EIFFAGE - GIUSEPPE STEFANI, BELLSEA - JEAN-MARC PERALTA, RMT CLEMESSEY

**To increase the capacity of the Freetown Container Terminal in Sierra Leone, the operator, Freetown Terminal Ltd, a subsidiary of Bolloré Transport & Logistics, agreed with the local authorities to build offshore an additional 270-metre-long quay and a 3.5-ha container storage area. The design and construction of this extension was awarded to the consortium formed by Eiffage Génie Civil, Bellsea and Rmt Clemessy. This work was completed on schedule, so that on 29 August 2018 the operator was able to unload a ship using dockside gantry cranes for the first time in Sierra Leone. □**

### AMPLIACIÓN DE LA TERMINAL DE CONTENEDORES DE FREETOWN, EN SIERRA LEONA

ANTOINE ARDOIN SAINT AMAND, EIFFAGE - GIUSEPPE STEFANI, BELLSEA - JEAN-MARC PERALTA, RMT CLEMESSEY

**Para aumentar la capacidad de la terminal de contenedores de Freetown (Sierra Leona), la operadora Freetown Terminal Ltd, filial de Bolloré Transport & Logistics, se ha comprometido con las autoridades locales a construir un muelle adicional en el mar, de 270 m de longitud, así como una zona de almacenamiento de contenedores de 3,5 ha. El diseño/construcción de esta ampliación se ha encargado al consorcio Eiffage Génie Civil/Bellsea/Rmt Clemessy. La realización de esta obra en los plazos fijados ha permitido a la operadora descargar por primera vez en Sierra Leona, el 29 de agosto de 2018, un buque con grúas-pórtico desde el muelle. □**



1

© JEAN-CLAUDE CARRÉ (ARTELIA)

# DÉFIS HYDRODYNAMIQUES DE LA CONSTRUCTION DE L'AUTOROUTE URBAINE DE LIMA AU PÉROU

AUTEURS : STÉPHANE BRONDINO, DIRECTEUR TECHNIQUE, CTO LAMSAC - ELISE GOETZ, INGÉNIEURE GÉNIE CIVIL, CTO LAMSAC - LUC BAZERQUE, RESPONSABLE ÉQUIPE HYDRAULIQUE, ARTELIA EAU & ENVIRONNEMENT - JEAN-CLAUDE CARRÉ, EXPERT HYDRAULICIEN, ARTELIA EAU & ENVIRONNEMENT - COLAS CHARLES, DIRECTEUR TECHNIQUE, CTO VINCI HIGHWAYS

**CHALLENGE : COMMENT ATTEINDRE LES MEILLEURS STANDARDS DE QUALITÉ ET DE RÉSILIENCE POUR UNE AUTOROUTE SITUÉE DANS UN ENVIRONNEMENT GÉOLOGIQUE SENSIBLE, À PROXIMITÉ IMMÉDIATE DU FLEUVE RÍMAC ET TRAVERSANT UN ESPACE URBAIN DENSE ET ANARCHIQUE ?**

## PRÉSENTATION GLOBALE DU PROJET

En décembre 2016, Vinci Highways, filiale de Vinci Concessions, devient le nouveau concessionnaire de deux sections d'autoroute urbaine à péage dans le centre de Lima, en réalisant l'acquisition de 100% de la société péruvienne Lamsac, et de Pex, l'exploitant du système électronique de péage associé.

Le contrat de concession, qui court jusqu'en 2049, comprend :

- **La Section 1** : l'élargissement et l'exploitation d'une portion de la "Panaméricaine", une voie urbaine de 16 km à très forte fréquentation nommée "Via Evitamiento" ;
- **La Section 2** : la construction, la mise en service et l'exploitation d'une section de 9 km dont les tra-

### 1- Canyon du Rímac.

### 1- Rímac Canyon.

vaux avaient été stoppés à mi-parcours, nommée "Nueva Vía Expresa Línea Amarilla".

L'investissement dans cette infrastructure est non seulement le plus important du groupe Vinci hors d'Europe, mais aussi le premier investissement autoroutier à l'international en *brownfield* pour Vinci Highways, c'est-à-dire reposant sur l'acquisition d'actifs existants. Tout en opérant la première section, empruntée par près de 140 000 véhicules par jour, la construction des



## VUE AÉRIENNE DU RÍMAC AU NIVEAU DU PROJET ET POINTS DE RÉFÉRENCE



© CARTOGAPHE LAMSAC/ARTELIA

2

9 km de la section 1 a été terminée en 15 mois et l'exploitation a débuté le 15 juin 2018. Au plus fort du chantier, qui se déroulait nuit et jour, sept jours sur sept, jusqu'à 4 000 ouvriers étaient présents sur le site. Malgré l'intensité des travaux et l'importante co-activité, la phase de construction a été menée en conformité avec l'engagement sécurité "Zéro accident" de Vinci - au total cette étape a représenté 11 millions d'heures-hommes de travaux sans accident mortel.

### UNE FORTE INTERACTION AVEC LE COURS D'EAU

L'interaction entre l'autoroute et le fleuve Rímac est omniprésente sur l'ensemble du tracé (figure 2).

La Section 2 comprend 2 km de tunnel sous-fluvial, 7 km de voies routières sur les rives du Rímac dont des tronçons situés au sommet de falaises abruptes d'une vingtaine de mètres de hauteur et 7 viaducs franchissant le lit.

**2- Vue aérienne du Rímac au niveau du projet et points de référence.**

**3- Canyon du Rímac et couches géologiques.**

**2- Aerial view of the Rímac at the project level, and reference points.**

**3- Rímac Canyon and geological layers.**

La Section 1 quant à elle longe le fleuve sur 2 km, au niveau du tunnel de la Section 2 et enjambe le Rímac au niveau du commencement de la Section 2. Elle se trouve à quelques mètres seulement des parois du canyon urbain

du fleuve, au niveau de la courbe située dans le quartier de Zarumilla.

En mars et avril 2017, une longue période de crues a provoqué deux attaques notables du fleuve posant de sérieuses questions sur la stabilité de l'ouvrage en finalisation de construction. Vinci Construction Grands Projets, la société de projet Lamsac et Artelia Eau & Environnement ont étudié ensemble le phénomène qui mène aux désordres constatés afin de les contrer.

### ÉTAT DES LIEUX DU COURS D'EAU RÍMAC

#### BASSIN VERSANT ET COURS D'EAU

Le Rímac naît dans la cordillère des Andes, à une altitude de 5 100 m où il est alimenté par des pluies abondantes. Les laves torrentielles y sont fréquentes et pourvoyeuses de sédiments de 10 cm de diamètre en moyenne. Le bassin versant du Rímac est de

3 390 km<sup>2</sup>. Après avoir parcouru 127 km, le fleuve se jette dans l'océan Pacifique au niveau de Lima, qu'il traverse d'est en ouest et dont il est le principal cours d'eau. Au niveau de la capitale péruvienne et avant le développement de celle-ci, le Rímac avait l'aspect d'un lit en tresses ; comme le fleuve Var avant son aménagement ou la rivière des Pluies et la rivière des Galets sur l'île de la Réunion. La pente générale du Rímac dans la traversée de Lima est de 1,5%.

Du point de vue hydrologique, la période sèche du fleuve s'étend de juin à novembre, le débit moyen est alors de 20 m<sup>3</sup>/s. Les mois de janvier à mars sont les plus chargés en eau, le débit pouvant à ce moment dépasser 200 m<sup>3</sup>/s pour une période de retour de 10 ans : c'est la saison des crues. Du fait de ses crues irrégulières et de son régime d'écoulement supercritique, le Rímac offre toutes les caractéristiques d'un torrent de montagne.

Au niveau géologique, le sol liménien est constitué de conglomérats de galets nommés "grave de Lima". Au fil du temps, cette couche s'est vue recouverte d'une épaisse couche (plusieurs mètres) de matériaux de décharge dits "poubelliers".

### HISTOIRE URBAINE ET IMPACTS MORPHODYNAMIQUES

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle Lima a connu une très forte urbanisation, triplant sa population entre 1950 et 1970 pour atteindre 3 millions d'habitants à cette date puis 10 millions actuellement.

Le développement d'infrastructures ne s'est pas fait de manière intégrale ce qui a notamment conduit à l'invasion du lit du Rímac et à la formation d'un canyon urbain. ▶



© JEAN-CLAUDE CARRE (ARTELIA)

3a

3b

4- Diminution de pente et création de chutes pour fixer le lit à Ejercito et Dueñas.

5- Chute du pont Ejercito où le lit s'est abaissé de 18 m.

4- Gradient reduction and creation of waterfalls to secure the river bed at Ejercito and Dueñas.

5- Ejercito Bridge waterfall where the bed was lowered by 18 m.

Le manque de maintenance des dites infrastructures a participé à ce processus. Dans la ville, la largeur du fleuve a été ainsi divisée par 10, passant de 150 m à 15 m en moyenne voire 6 m sur certains secteurs (figure 3).

Ceci a conduit à une profonde modification du fonctionnement morphodynamique du fleuve : réduction de sa largeur provoquant une augmentation de la vitesse et donc du potentiel de transport solide.

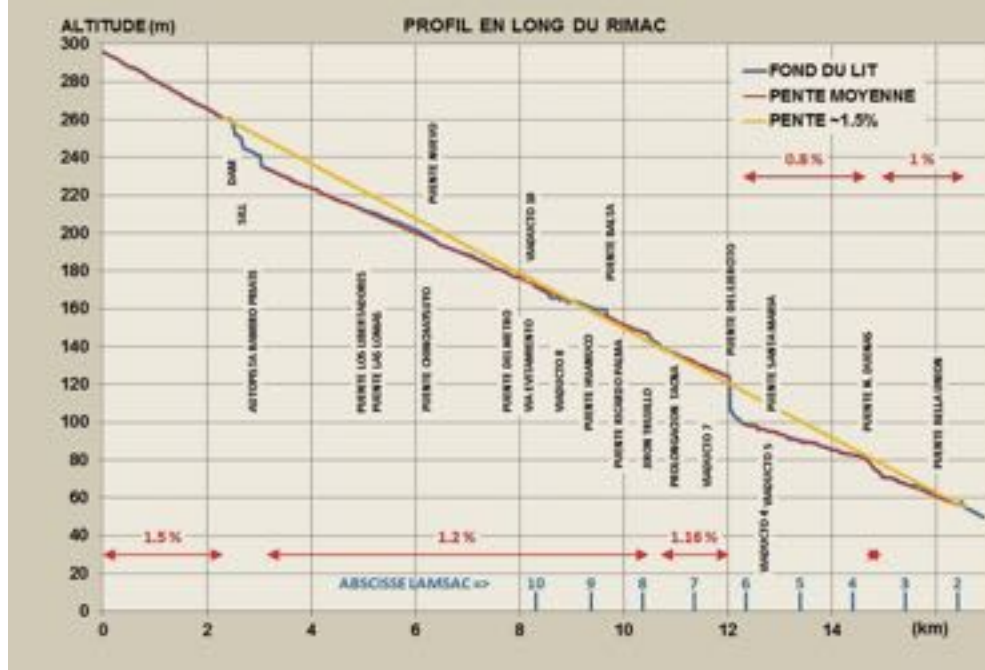
Puisque le volume de sédiments transportés depuis l'amont n'a pas évolué, la pente du fleuve s'est ajustée de telle sorte que la nouvelle capacité de transport solide corresponde à celle en amont, en moyenne. Cette pente a diminué (comprise entre 0,8% et 1,2%). Le niveau à l'aval, niveau de la mer à l'embouchure, étant fixe, une réduction de la pente de 0,5% engendre un enfoncement pouvant atteindre 75 m dans les graves de Lima. Ces modifications impactent un linéaire de 15 km en amont du pont Bella Union (figure 4).

Cet enfoncement du lit du fleuve a été contraint par la construction de plusieurs seuils qui ont fixé le niveau du lit du fleuve de manière localisée.

Les principaux aménagements sont situés aux ponts Ejercito (figure 5) et Dueñas, et en amont de la zone étudiée au niveau du pont de l'autoroute Chosica pour une hauteur de chute cumulée par ces trois ouvrages de 58 m. L'équilibre du lit du Rímac est démontré par la conservation de la pente entre les ponts Ejercito et Dueñas, et ce malgré l'exhaussement du lit de 3 m induit par un resserrement artificiel au niveau du pont Dueñas.

Cette analyse morphodynamique du fonctionnement général du fleuve a

## DIMINUTION DE PENTE ET CRÉATION DE CHUTES POUR FIXER LE LIT À EJERCITO ET DUEÑAS



4

© JEAN-CLAUDE CARRÉ (ARTELIA)

permis de comprendre que l'équilibre du lit est fragile et qu'il dépend du niveau des différents seuils construits sur son cours. Les activités humaines dans le fleuve constituent également autant de sources de fragilisation ou de rupture de l'équilibre morphodynamique du lit du Rímac.

### DYSFONCTIONNEMENTS, DÉSORDRES, RISQUES HYDRAULIQUES POTENTIELS

L'analyse réalisée par Artelia Eau & Environnement durant la période sèche 2017 s'est concentrée sur les secteurs prioritaires fortement endommagés lors de la période de crue. Il s'est agi de comprendre le fonctionnement glo-

bal du fleuve Rímac, d'identifier les causes de ces désordres spécifiques et d'apporter des solutions de confortement adaptées dans un délai de temps très court, avant la nouvelle période de crue démarrante fin novembre.

Il a été constaté que le lit du fleuve Rímac s'est progressivement stabilisé dans le temps. Cependant, des inter-



5

© JEAN-CLAUDE CARRÉ (ARTELIA)



Direction du flux et zone d'attaque du Rímac



6- Écoulement au pont Dueñas avant et pendant la crue de mars 2017.

7- Évolution de la protection de rive droite et impact en rive gauche (PH 3+100).

8- Flux dirigé vers la courbe de Zarumilla.

6- Flow at Dueñas Bridge before and during the March 2017 flood.

7- Evolution of right bank protection and impact on the left bank (PH 3+100).

8- Flow directed toward the Zarumilla curve.

ventions humaines (ponts, protections de berges), mal maîtrisées et préalables au chantier de Vinci, ont induit des déséquilibres dans ses écoulements. En particulier, les secteurs Dueñas, PK 3+100 et Zarumilla ont subi des érosions sévères déstabilisant les talus supportant l'autoroute en construction. Le secteur Ejercito a lui aussi été considéré comme problématique et devra faire l'objet de futures études.

#### DUEÑAS : UN AMÉNAGEMENT PROBLÉMATIQUE

Dans le secteur Dueñas, la pose d'enrochements en amont du pont existant et l'aménagement de la rive droite

en aire de promenade ont induit une activation de la travée droite du pont. Il s'en est suivi une redirection des écoulements vers la rive gauche, sur un tronçon à très forte pente, assurant la transition entre deux tronçons à pente réduite (figure 6).

Le fleuve s'est dirigé alors à pleine puissance sur la rive gauche de son lit, endommageant le talus de support de la future autoroute de manière critique.

#### SECTEUR PK 3+100 : EFFETS D'UN ENROCHEMENT EN RIVE OPPOSÉE

Dans le secteur de PK 3+100, des protections en enrochements libres ont été

mises en place en rive droite dans un léger méandre.

Leur conception et réalisation sont sujettes à débat : courbure trop longue, pas d'ancrage amont, une seule couche d'enrochements, talus trop raide, pas de sabot de pied.

L'ouvrage a été détruit lors des crues de mars 2017, laissant un méandre plus prononcé qu'initialement qui a renvoyé les écoulements sur la rive gauche, érodant le talus de l'autoroute (figure 7).

On notera l'évolution de la protection de rive droite, depuis l'amorce de son érosion amont jusqu'à sa disparition complète (PK 3+225).

#### COURBE DU SECTEUR ZARUMILLA

Au niveau du secteur Zarumilla on a pu observer une érosion due à la courbure du fleuve (figure 8). Ce secteur est particulièrement préoccupant car la Section 1 passe au sommet du talus, son effondrement pourrait donc avoir des conséquences dramatiques. Le processus observé à la base du talus est un sous-cavement. Il est couramment observé dans les zones semi arides ou il est typique de rencontrer des cours d'eau limités par des parois verticales. Il n'est pas lié directement à l'action du courant mais, indirectement, à l'action des galets charriés par le fleuve.

#### SOLUTIONS MISES EN ŒUVRE

Étant donné les risques d'effondrement des talus liés à l'érosion des berges du Rímac, le nouveau concessionnaire (Lamsac/Vinci) a identifié et mis en œuvre les solutions assurant la stabilité et la résilience des infrastructures à long terme.

À court terme, pour répondre aux attaques du Rímac lors des crues de 2017, des mesures d'urgence ont été prises en trois points particuliers.

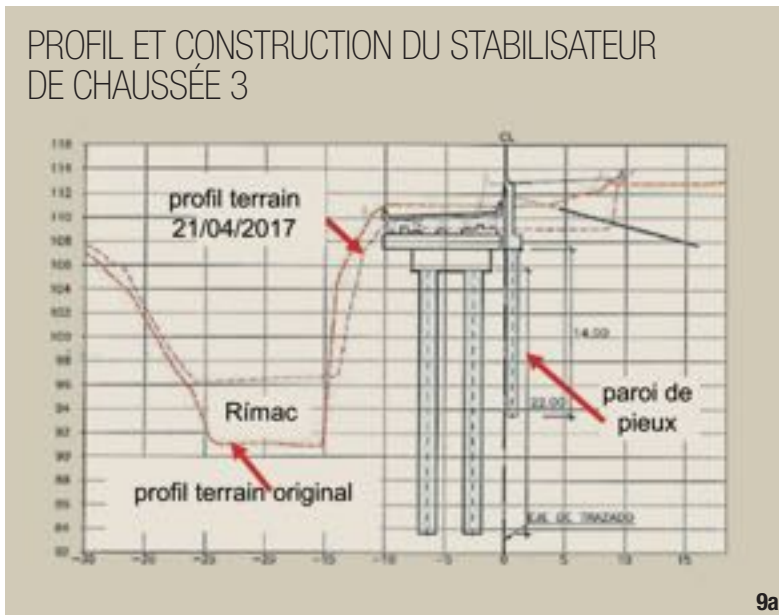
#### LES STABILISATEURS DE CHAUSSÉES

Afin d'assurer une stabilité de l'autoroute à long terme, et ce malgré l'érosion du lit du fleuve, le nouveau concessionnaire a construit les stabilisateurs de chaussées 1, 2 et 3 en ▷

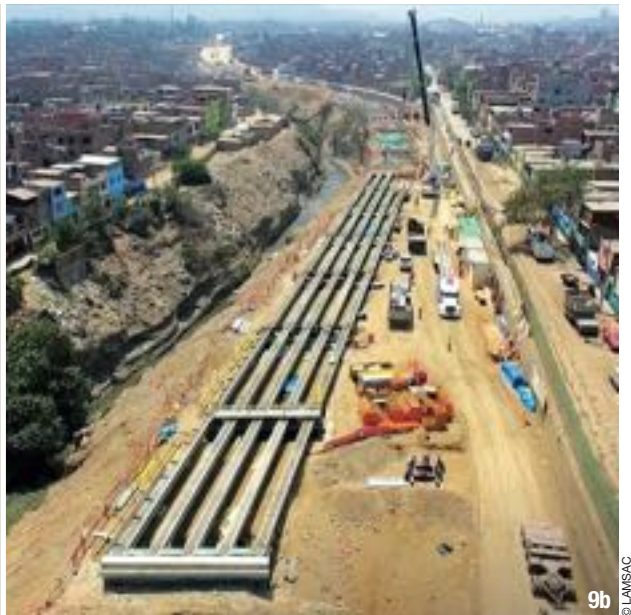


8

## PROFIL ET CONSTRUCTION DU STABILISATEUR DE CHAUSSEE 3



9a



9b

forme de viaducs enterrés dans les secteurs les plus critiques du projet (figure 9).

Ces ouvrages situés aux PK 3+380 - 3+511, 4+600 - 4+741 et 4+900 - 5+184 mesurent respectivement 131, 138 et 281 m de long. Le plus important des viaducs enterrés comprend 15 travées.

Les portées font 18 m tandis que la largeur de l'ouvrage est de 10 m. La structure repose directement sur les fondations, des pieux de 20 m de longueur et 1,5 m de diamètre. En début et en fin de viaduc enterré ces pieux ont été mis en œuvre par paires, tandis qu'au centre, où la falaise est la plus proche de l'ouvrage, les pieux

vont trois par trois. Une fois encore, en début et fin de viaduc, dans l'objectif d'éviter que les talus de terre de la chaussée extérieure ne se situent dans l'angle de frottement interne du matériau, des murs de terre armée ont été mis en œuvre. Au centre du viaduc une paroi de pieux ancrés d'un mètre de diamètre, séparés de 1,5 m a été construite.

Afin de prévenir une possible reprise de l'érosion du fleuve les pieux des viaducs atteignent une profondeur supérieure à celle du lit du Rimac au moment de la construction. Les pieux ont finalement été allongés au maximum dans la limite des possibilités permises par le processus constructif choisi.

**9- Profil et construction du stabilisateur de chaussée 3.**

**10- Profil du stabilisateur de chaussée 5 et construction du stabilisateur de chaussée 4.**

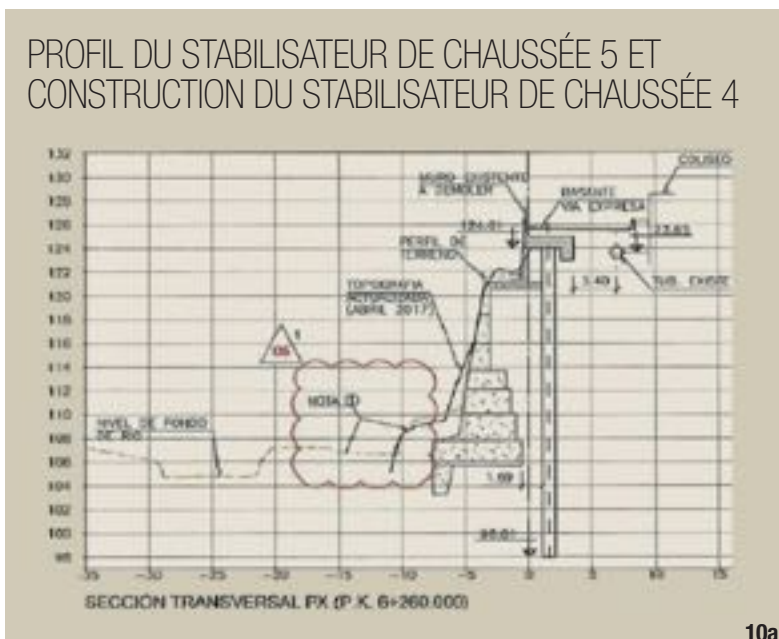
**9- Profile and construction of pavement stabiliser 3.**

**10- Profile of pavement stabiliser 5 and construction of pavement stabiliser 4.**

En aval du pont Ejercito, des parois en pieux ancrées au terrain ont été mises en œuvre, ouvrages qu'on dénomme "stabilisateurs de chaussée 4 et 5" (figure 10). La première paroi, qui s'étend du PK 5+841 au PK 6+227 comprend 259 pieux de 1,0 à 1,5 m de diamètre et de 22 à 26 m de long. Elle est renforcée par des ancrages de 14 à 25 m de longueur.

La seconde paroi est unie en tête via une dalle de béton armé de 1 m d'épaisseur incluant un contre-poids. On dénombre 40 pieux de 1 m de diamètre. Des parois de micro pieux de 30 cm de diamètre complètent le système, en permettant une double hauteur de chaussée.

## PROFIL DU STABILISATEUR DE CHAUSSEE 5 ET CONSTRUCTION DU STABILISATEUR DE CHAUSSEE 4



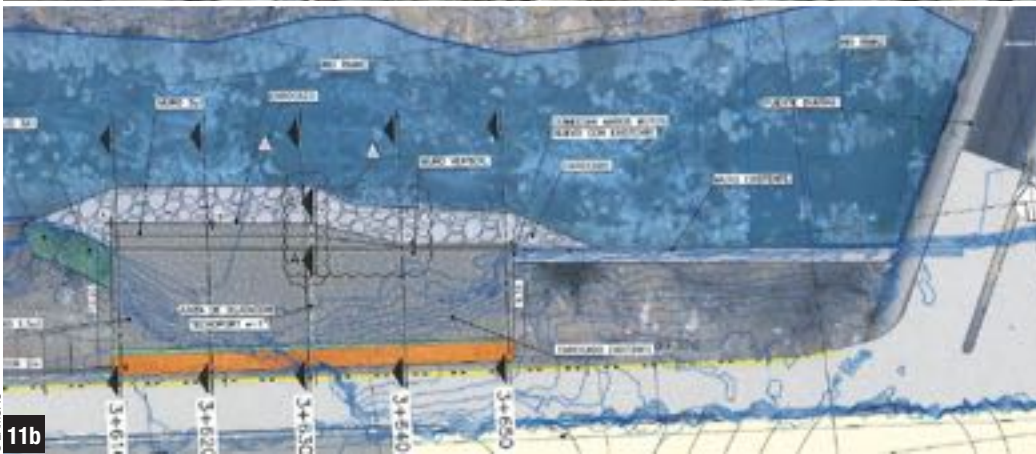
10a



10b



11a



11b

**TRAVAUX D'URGENCE EN RÉPONSE AUX CRUES**

Au niveau de Dueñas, on l'a vu, le flux du Rímac attaque les berges en rive gauche inquiétant la Section 2. Pour contrer ce phénomène un mur a été construit, nécessitant une déviation préalable du fleuve pour construire une plateforme de travail. Le mur de roche et béton a été mis en œuvre et renforcé par un enrochement en pied de talus (figure 11). Au niveau du PK 3+100, pour contrer l'érosion de la rive gauche un mur de pierre et de béton a été mis en œuvre. Là aussi, le Rímac a été dévié avant les travaux de terrassement. Le nouveau concessionnaire a fait installer un géotextile et un enrochement le long de la berge et en pied de talus (figure 12). Enfin, au niveau de la courbe Zarumilla, l'étroitesse du canyon combinée aux risques d'effondrement interdisait

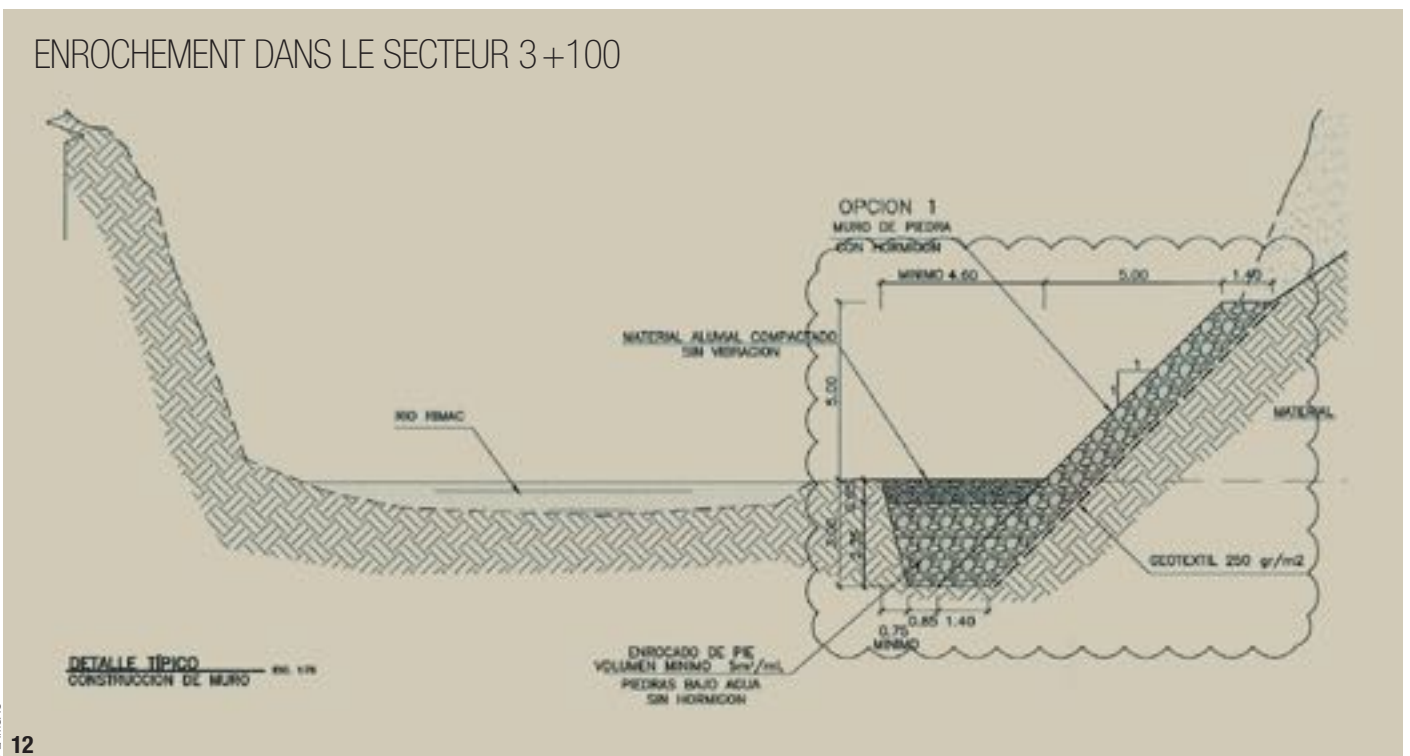
**11- Renforcement de talus à Dueñas.**

**12- Enrochement dans le secteur 3+100.**

**11- Embankment consolidation at Dueñas.**

**12- Rockfill in the 3+100 sector.**

**ENROCHEMENT DANS LE SECTEUR 3+100**



12

toute présence humaine dans le lit du fleuve. Un ouvrage provisoire composé de roches et de béton a été mis en œuvre en pied de talus depuis le haut des parois via une grue (figure 13).

### ET LA SUITE ?

L'année 2017 a enregistré d'importants débits en période de crues qui ont donné lieu à des mesures de protection d'urgence qui ont prouvé leur efficacité lors des crues de 2018. Il est désormais temps d'envisager une gestion des risques sur le long terme ; des investissements durables pour stabiliser les berges via le lancement d'études hydrauliques et sédimentaires approfondies et la mise en œuvre de solutions techniques complémentaires aux stabilisateurs de chaussée sont ainsi prévus. □

**13- Ouvrage provisoire à Zarumilla.**

**13- Temporary structure at Zarumilla.**



13

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**BÉTON ARMÉ : 57 000 m<sup>3</sup>**  
**ENROCHEMENTS : 59 000 m<sup>3</sup>**  
**DÉBLAIS : 502 000 m<sup>3</sup>**  
**REMBLAIS : 333 000 m<sup>3</sup>**  
**STRUCTURES MÉTALLIQUES : 2 200 t**  
**NETTOYAGE DU LIT DU FLEUVE : 1 270 000 m<sup>3</sup>**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**CONCÉDANT : Municipalité Métropolitaine de Lima**  
**SOCIÉTÉ DE PROJET : Lamsac (groupe Vinci)**  
**BUREAU D'ÉTUDES HYDRAULIQUES : Artelia Eau & Environnement**  
**ENTREPRISE DE CONSTRUCTION : Graña y Montero, Vinci Construction Grand Projet**

### ABSTRACT

## HYDRODYNAMIC CHALLENGES FOR CONSTRUCTION OF THE URBAN MOTORWAY IN LIMA, PERU

S. BRONDINO, CTO LAMSAC - E. GOETZ, CTO LAMSAC - L. BAZERQUE, ARTELIA - J.-C. CARRÉ, ARTELIA - N. CHARLES, CTO VINCI

**Following the takeover of an urban motorway concession operation in Lima (Peru), Vinci had to build road sections in a location heavily constrained by the natural and man-made environment. The main unknown was the hydraulic risk resulting from the Rimac River flowing in the immediate vicinity of the infrastructure. This risk soon materialised, because initial damage occurred in the site works phase, during the exceptionally long floods of the winter of 2016-2017. Vinci commissioned Artelia in order to gain a better understanding of the hydraulic phenomena involved and to jointly define appropriate and sustainable protection solutions. The solutions defined and implemented provided a response to an initial series of short- and long-term challenges while allowing rapid commissioning and operation of the infrastructure. □**

## DESAFÍOS HIDRODINÁMICOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA AUTOPISTA URBANA DE LIMA, EN PERÚ

S. BRONDINO, CTO LAMSAC - E. GOETZ, CTO LAMSAC - L. BAZERQUE, ARTELIA - J.-C. CARRÉ, ARTELIA - N. CHARLES, CTO VINCI

**Tras adquirir la concesión de una autopista urbana en Lima (Perú), Vinci ha tenido que construir tramos viales en una zona donde el entorno natural y antrópico impone fuertes restricciones. El principal problema es el riesgo hidráulico derivado del flujo del río Rimac en proximidad inmediata de la infraestructura, que no tardó en materializarse dado que durante la fase de obras las crecidas excepcionalmente largas del invierno 2016/2017 produjeron los primeros daños. Vinci ha encargado a Artelia un análisis de los fenómenos hidráulicos en juego para definir conjuntamente soluciones de protección adaptadas y duraderas. Las soluciones definidas e implementadas han logrado responder a un primer nivel de desafíos a corto y largo plazo, permitiendo a la vez una puesta en servicio y una explotación rápidas de las infraestructuras. □**



1

© BOUYGUES TP

# CALAIS PORT 2015 : CONSTRUCTION D'UN QUAI POUR L'ACCUEIL DES FERRIES

AUTEURS : NADÈGE CHABERT, INGÉNIEUR DE CONCEPTION, ARCADIS - DIDIER MEURISSE, DIRECTEUR ADJOINT DE L'INGÉNIERIE INTÉGRÉE, ARCADIS - PATRICK MICHEL, INGÉNIEUR TRAVAUX DU GROUPEMENT CONSTRUCTEUR, SPIE BATIGNOLLES

**CONFIÉE EN CONCEPTION / RÉALISATION À UN GROUPEMENT D'ENTREPRISES EN FÉVRIER 2015, LA PREMIÈRE PHASE DU PROJET CALAIS PORT 2015 SERA LIVRÉE EN JANVIER 2021. ELLE COMPREND NOTAMMENT LA CONSTRUCTION DE LA NOUVELLE DIGUE, LE DRAGAGE DU FUTUR BASSIN, LA RÉALISATION DES TERRE-PLEINS ET VOIRIES GAGNÉS SUR LA MER AINSI QUE LA CONSTRUCTION DE TROIS NOUVEAUX POSTES D'ACCOSTAGE POUR FERRIES, DONT LE POSTE P10 OBJET DU PRÉSENT ARTICLE.**

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

Le projet Calais Port 2015 s'inscrit dans le cadre d'un programme d'investissement important, lancé en 2007 par la Région Hauts-de-France, visant à redonner aux ports de Boulogne-sur-Mer et Calais les moyens de leur développement sur le long terme. Il s'agit d'adapter l'actuel premier port passagers français aux évolutions futures attendues, telles que l'augmentation de la taille des navires, la croissance continue des trafics et l'évolution des modes de transport des marchandises. La Région a désigné comme concessionnaire des deux ports la Société d'Exploitation des Ports du Détroit qui a alors sub-délégué la conception, la réalisation et le financement de la phase 1 du projet Calais Port 2015 à la Société des Ports du Détroit. En tant que maître d'ouvrage, la SPD a confié

au groupement composé des sociétés des groupes Bouygues, Spie Batignolles et Jan de Nul la conception et la réalisation des ouvrages de la première phase du projet Calais Port 2015. Ce projet comprend notamment :

- Des digues et perrés de protection en enrochements (environ 4,8 km de linéaire) dont la digue principale de 3,3 km délimitant le nouveau bassin de 90 ha pour l'accueil des navires ;
- 65 ha de terre-pleins dont 44 ha gagnés sur la mer par remblaiement hydraulique de sables dragués (plateformes du Terminal Transmanche Nord) ;
- 3 nouveaux postes d'accostage pour ferries P10, P11 et P12 ;
- L'aménagement des superstructures portuaires et la refonte de tous les accès avec notamment 31 bâtiments et 8 ouvrages d'art.

## 1- Photomontage du poste d'accostage P10.

## 1- Photomontage of mooring station P10.

Le futur poste d'accostage P10 est présenté dans ce qui suit avec, en particulier :

- Les caractéristiques dimensionnelles et structurelles des éléments constitutifs du quai ;
- Les critères et la démarche de conception ayant conduit à son dimensionnement ;
- La réalisation du quai et les modalités d'exécution.

## POSTE D'ACCUEIL DES FERRIES P10

### PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

Il s'agit d'un quai sur pieux implanté dans le talus de la digue Est.

La ligne magistrale de ce quai, de 80 m de longueur, est située 55 m en avant de la berge, dans le bassin.

L'accostage des navires peut ainsi s'effectuer sur un front d'accostage constitué de quatre tubes écarteurs, appuyés sur le quai, et neuf ducs d'Albe alignés.

Les bollards d'amarrage sont également disposés sur le quai et sur des ducs d'Albe indépendants.

La plateforme du quai, de 30 à 35 m de largeur pour 80 m de longueur, présente une capacité de chargement réparti de 20 kPa et permet la circulation de la passerelle piétonne d'accès aux ferries. ▶

Cette plateforme rectangulaire est reliée à la berge par deux passerelles de même nature, de 12 m de largeur, sur lesquelles circulent les bus d'accès à la passerelle d'embarquement des piétons.

## ÉQUIPEMENTS ET FONCTIONNALITÉS DU QUAI

La fonction principale du quai est de permettre l'accueil des ferries s'engageant dans l'embecquetage situé 35 m à l'est de l'extrémité du quai. À cet effet, la poutre maîtresse comporte les équipements suivants :

- 4 bollards de capacité 150 t dont la position et la capacité ont été définies par une étude de tenue à poste ;
- 4 dispositifs d'amortissement de l'énergie d'accostage. Il s'agit de tubes écarteurs implantés en avant du quai, comprimant une défense intermédiaire fixée sur la face avant de la poutre maîtresse.

Ces éléments, qui sont en interaction directe avec le quai, sont complétés par 9 ducs d'Albe d'accostage et 13 ducs d'Albe d'amarrage, indépendants, répartis sur un linéaire total de 290 m, reliés au quai et entre eux, par une passerelle métallique d'accès pour les lamaniers en charge du pilotage des navires à l'entrée et à la sortie du port.

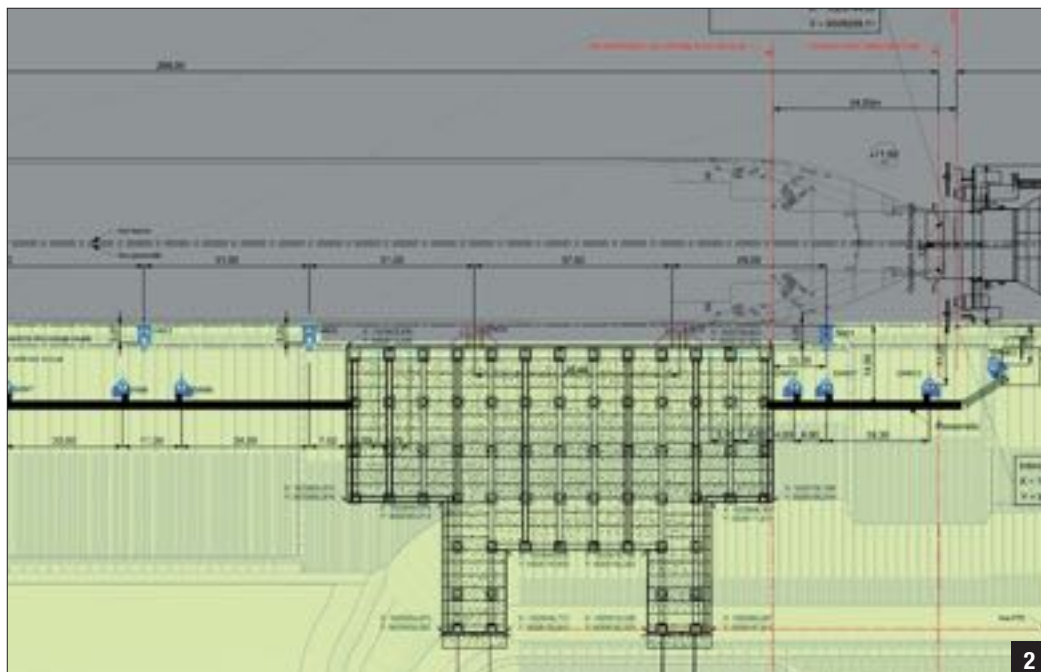
Les ferries seront accessibles aux piétons par des portes d'accès latérales sur les niveaux supérieurs des ponts du navire. Une passerelle mobile, de hauteur réglable, permettra aux piétons d'accéder aux ferries depuis le quai.

Le dimensionnement de la structure du quai intègre cette donnée d'entrée : il prend en compte la circulation de la passerelle sur tout le linéaire correspondant aux positions à quai des divers bateaux et permet l'ancrage de cette passerelle lors des épisodes tempétueux pour éviter tout risque de basculement.

La forme de la plateforme et les dimensions en plan des passerelles d'accès (figure 3) sont guidées par la prise en compte d'une circulation de bus.

Ces bus déposeront les passagers des bateaux au pied de la passerelle piétonne d'accès au ferry.

Le quai est éclairé et les mâts (implantés à la suite d'une étude d'éclairage visant à obtenir 30 lux en tout point de la plateforme du quai) sont alimentés par un caniveau périphérique et des fourreaux disposés dans la dalle béton.



2

© ARCADIS

**2- Dispositions générales du poste d'accostage P10.**

**3- Vue 3D du poste d'accostage P10.**

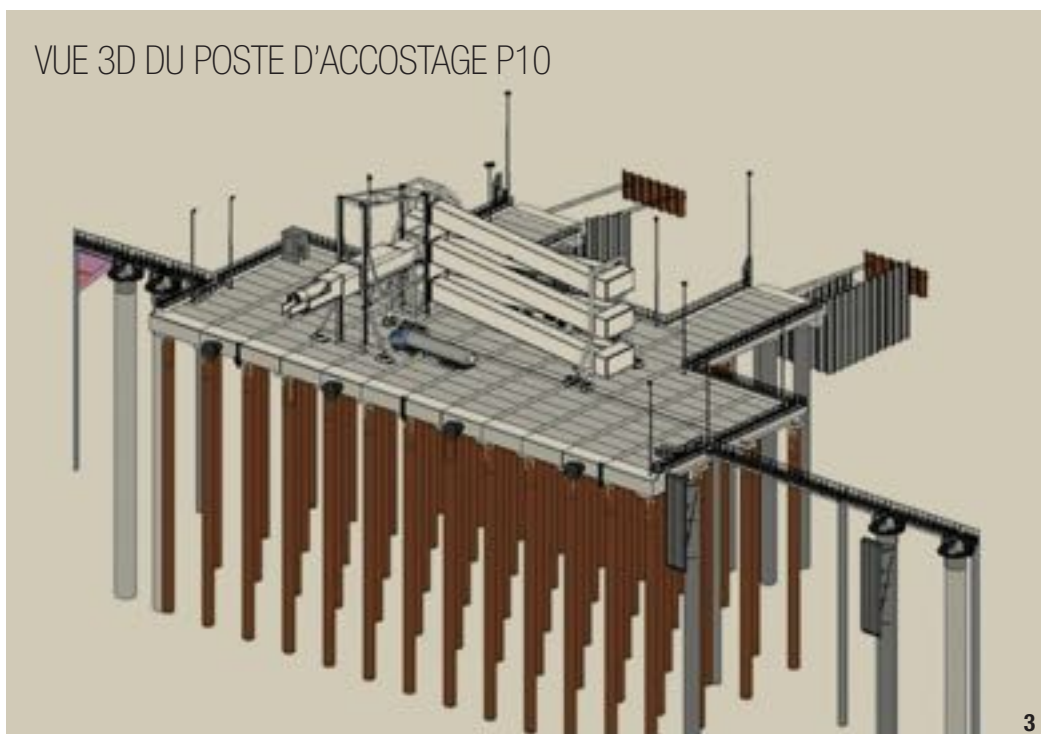
**2- General layout of mooring station P10.**

**3- 3D view of mooring station P10.**

## CONTEXTE GÉOTECHNIQUE DU SITE

Le fond du bassin à proximité de l'ouvrage est à -11,50 CM et sera protégé en exploitation par un matelas anti-affoulement. Le niveau du terre-plein est à +10,50 CM en crête de perré. Le quai est implanté en berge et les pieux sont battus dans le talus, recouvert d'enrochements. Le phasage envisagé nécessitant de mettre en œuvre ces derniers avant la réalisation du quai, pour assurer la stabilité

VUE 3D DU POSTE D'ACCOSTAGE P10



3

© ARCADIS



## PLAN DE CALEPINAGE REPRÉSENTANT TOUS LES ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS



© ARCADIS

4

du talus, il a été proposé de mettre en place des réservations constituées de viroles métalliques ou en PEHD afin de permettre le passage des pieux de fondation.

Le poste P10, par sa situation abritée dans le bassin, bénéficie de conditions météorologiques relativement favorables et une étude d'agitation a permis de définir une houle de projet très faible et non dimensionnante au regard des

autres sollicitations en jeu (accostage et amarrage principalement). Calais étant situé en zone sismique 2, une analyse sous sollicitation sismique a été nécessaire.

Le modèle géologique et géotechnique global du site est constitué de remblais hydrauliques, de sables flamandais reposant sur l'Argile des Flandres présentant, sur les trois premiers mètres, une zone d'altération. Avec un toit entre 30

et 35 m de profondeur par rapport au niveau futur du projet ( $\approx +10,5$  m CM), les Argiles des Flandres sont constituées d'une argile raide, surconsolidée et assez homogène dans laquelle viennent s'ancrer les pieux de fondation du quai. Pour justifier la capacité portante des pieux vis-à-vis des critères définis dans les Eurocodes, un ancrage d'un à plusieurs mètres dans cet horizon a été retenu pour les files avant du quai et un

ancrage uniquement dans les sables pour les pieux supportant les passerelles d'accès.

L'instrumentation des premiers pieux et la définition des critères d'arrêt de battage suivant les différentes files a permis de corroborer ces valeurs d'ancrage dans les différents horizons portants ou de procéder à des ajustements, suite à l'analyse des courbes de battage.

### PRINCIPE CONSTRUCTIF

Le principe constructif du quai doit permettre une réalisation rapide, contrôlée et adaptée aux fonctions attendues. Compte-tenu du contexte rappelé ci-dessus, le choix de la structure s'est porté sur un quai sur pieux, ouvert et présentant une poutre magistrale de 2 m de hauteur comme front d'accostage.

La superstructure est une structure en béton armé, majoritairement préfabriquée, encastrée sur les pieux de fondation au moyen de bouchons en béton armé assurant la connexion.

### Pieux métalliques battus

Le quai s'appuie sur 68 pieux de diamètre 1 422 mm, d'épaisseur 19 mm et de nuance X70 (classe 4), mis en place et battus avec un guide de battage à 2 niveaux (figure 6).

Une tolérance de 10 cm en plan par rapport aux axes théoriques des files de pieux a été prise en compte dans les calculs de ferrailage et dans le calepinage de tous les éléments préfabriqués grâce à la mise en place de chapiteaux provisoires et à la prise en considération de marges dans les positions des armatures. ▷

4- Plan de calepinage représentant tous les éléments préfabriqués.

5- Montage du perré et mise en place des viroles pour battage des pieux.

4- Layout drawing showing all the prefabricated components.

5- Assembly of the breast wall and placing collars for pile driving.



© ARCADIS

5



6

© BOUYGUES TP

Les phases de battage des pieux ont constitué un moment crucial du projet vis-à-vis des capacités portantes ainsi que du respect des tolérances nécessaires pour la pose des éléments préfabriqués de la dalle béton.

#### **Superstructure en béton armé**

Schématiquement, il a été proposé un système de prédalles de 6,50 m de longueur, appuyées sur des poutres orientées transversalement au front d'accostage.

Ces poutres sont des éléments de structure essentiels car elles assurent le transfert des efforts d'accostage et d'amarrage vers la berge.

La structure générale est fermée en périphérie par des poutres longitudinales qui apportent la raideur longitudinale à la structure.

Les éléments préfabriqués sont au nombre de 306. Ils sont tous réalisés sur une aire de préfabrication en arrière du terre-plein et levés au moyen d'ancres Artéon, palonniers équilibreurs et grue flèche treillis pour être chargés sur camions et transportés jusqu'au quai.

On dénombre ainsi (figure 4) :

- 155 prédalles de 20 cm d'épaisseur et 5,50 m de longueur, de 14 types différents en fonction de leur position sur le quai ;

- 71 poutres préfabriquées se répartissant entre 14 types de poutres transversales de 1,20 m de hauteur et 7 types de poutres longitudinales de 1,40 m de hauteur ;
- 68 chapiteaux permettant le support des poutres sur les pieux en phase provisoire ;
- 12 coques de coffrage perdu pour couler en place la poutre magistrale.

#### **6- Guide pour battage des pieux.**

#### **7- Travaux de battage des pieux.**

#### **6- Pile driving guide.**

#### **7- Pile driving works.**

Le ferrailage des éléments, nécessaire pour la répartition des sollicitations internes dans la structure, tient compte du phasage de pose des éléments et de leur clavage progressif (fonctionnement en condition isostatique, temporairement).

Tout a été pensé pour faciliter la mise en œuvre et permettre le croisement des aciers sortants dans ces zones



7

© BOUYGUES TP



© ARCADIS  
8

de clavage très denses en armatures. Un système de peignes (armatures positionnées en décalé) a été proposé et, à ce jour, tous les éléments préfabriqués ont pu être mis en place sans rencontrer de difficulté.

#### **Béton coulé en place**

Les bouchons en béton armé en tête des pieux de fondation (sur une hauteur de 3 diamètres), les zones de clavage intermédiaire, le noyau de la poutre magistrale et la dalle de compression sont coulés en place. Pour maîtriser les risques de fissuration finale de la

**8- Pose des enrochements 2/4 t de protection du talus.**

**9- Pose des éléments de la poutre magistrale.**

**8- Placing 2/4 tonnes of rockfill to protect the embankment.**

**9- Placing main beam elements.**

dalle, des plots de bétonnage ont été proposés.

#### **Rideau parafouille**

Un rideau parafouille a été mis en œuvre en tête de talus pour assurer la retenue des terres en arrière et la butée du quai dans le terre-plein lors des accostages.

#### **Tirants subhorizontaux**

Vis-à-vis des sollicitations d'amarrage, le quai est ancré dans le terre-plein au moyen de 4 tirants subhorizontaux fixés sur un rideau arrière pour chacune des passerelles d'accès du quai.

## **ENJEUX ET MODALITÉS DE CONCEPTION**

### **Critères de conception**

Les délais de réalisation du quai étant contraints, et le chantier se déroulant sur l'eau, il est apparu au groupement qu'un système d'éléments préfabriqués, préparés en amont sur l'aire de préfabrication, constituait une solution intéressante.

Cela étant, la forme du quai, relativement dissymétrique, ainsi que des surcharges différentes et localisées, nécessitaient une grande variété de pièces diversement ferrillées, et une rigueur dans la production de plans de coffrage/ferraillage aussi bien que dans la gestion de la production des pièces en béton sur site.

Ce projet fait donc la part belle aux problématiques de bétonnage (le volume total de béton est de 2850 m<sup>3</sup> dont 1275 m<sup>3</sup> d'éléments préfabriqués) en relation avec les méthodes adoptées pour produire rapidement des éléments très ferrillés s'emboîtant aisément dans les zones de clavage.

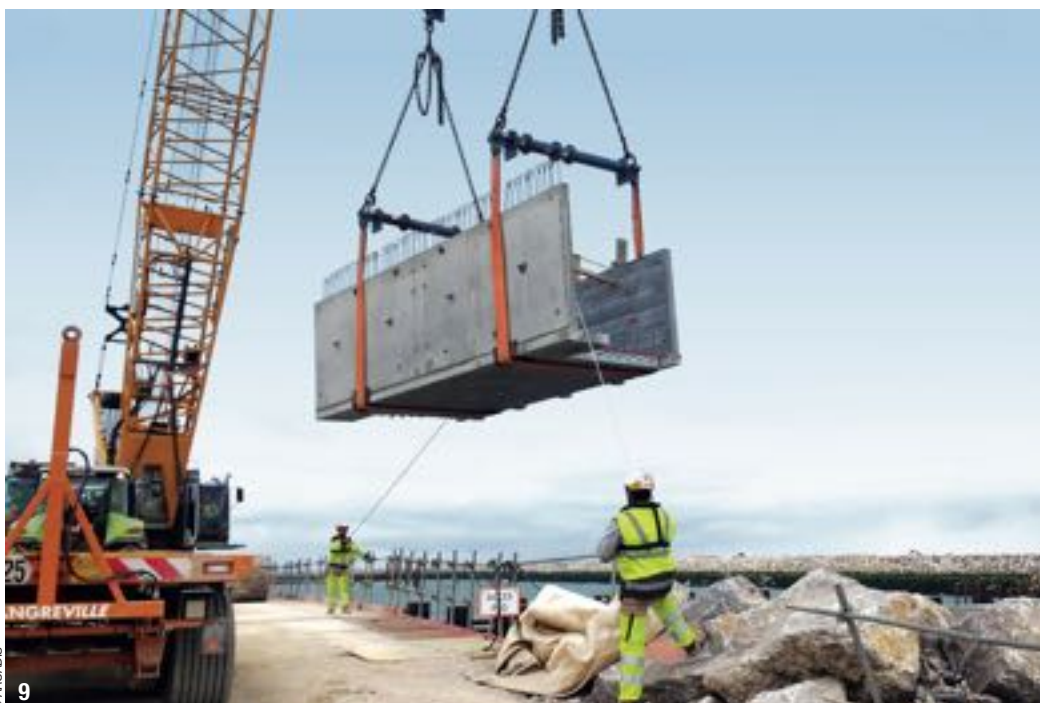
Le nombre de pieux, leur relativement grand diamètre et leur longueur ont nécessité également une étude approfondie pour proposer une solution économique et de réalisation aisée.

Le groupement a pu mettre à profit les méthodes de battage qui lui sont familières avec un guide de battage à double niveau pour réduire les imprécisions d'implantation. Un suivi de l'enfoncement des pieux lors du battage de ces derniers a permis de recueillir les informations nécessaires sur les horizons traversés.

### **Démarche de conception**

La démarche suivante a été appliquée :

- Définition des éléments importants du projet, prise en compte du contexte et des méthodes propres au groupement ;
- Étude d'agitation, définition des descentes de charges liées aux engins et passerelles circulant sur le chantier ;
- Étude d'accostage et de tenue à poste pour la détermination des équipements (bollards et défenses d'accostage) nécessaires ainsi que des sollicitations transmises à l'ouvrage ;
- Modélisation du quai en trois dimensions et obtention des sollicitations internes en tous points de l'ouvrage dans différentes configurations d'exploitation (y compris combinaison sismique) ;



© ARCADIS  
9

- Modélisation BIM pour intégration de l'ouvrage dans l'ensemble du projet et validation des choix constructifs vis-à-vis de la faisabilité de la mise en œuvre ;
- Proposition d'un équarrissage général et de principes de ferrailage adaptés à une mise en œuvre acceptable vis-à-vis des méthodes de l'entreprise ;
- Justification selon les règlements en vigueur ;
- Représentation graphique et intégration des conditions de mise en œuvre et de phasage pour tous les points singuliers ;
- Contrôle interne, externe et extérieur ;
- Échange entre le constructeur et les concepteurs pour finalisation des détails constructifs et durant toute la phase chantier.

## RÉALISATION ET DÉROULEMENT DU CHANTIER

### Montage du perré et mise en place des viroles pour battage des pieux

Les travaux du Poste P10 ont débuté pendant les travaux de réalisation du



© BOUYGUES TP

perré Est qui servira de digue pour le remblaiement hydraulique futur. Pendant la montée des digues en enrochements sur l'estran, des viroles métalliques ont été installées afin de pouvoir battre les futurs pieux du P10 (figure 5).

### Travaux de battage des pieux

Une fois le perré terminé, les remblais hydrauliques ont été réalisés y compris

**10- Pose des chapiteaux et des poutres.**

**11- Pose des dalles préfabriquées.**

**10- Placing caps and beams.**

**11- Placing prefabricated slabs.**

les préchargements destinés à obtenir les portances souhaitées.

L'atelier de battage a alors pu s'installer sur la plateforme remblayée pour ensuite se rendre au-dessus du plan d'eau et poursuivre le battage (figure 7).

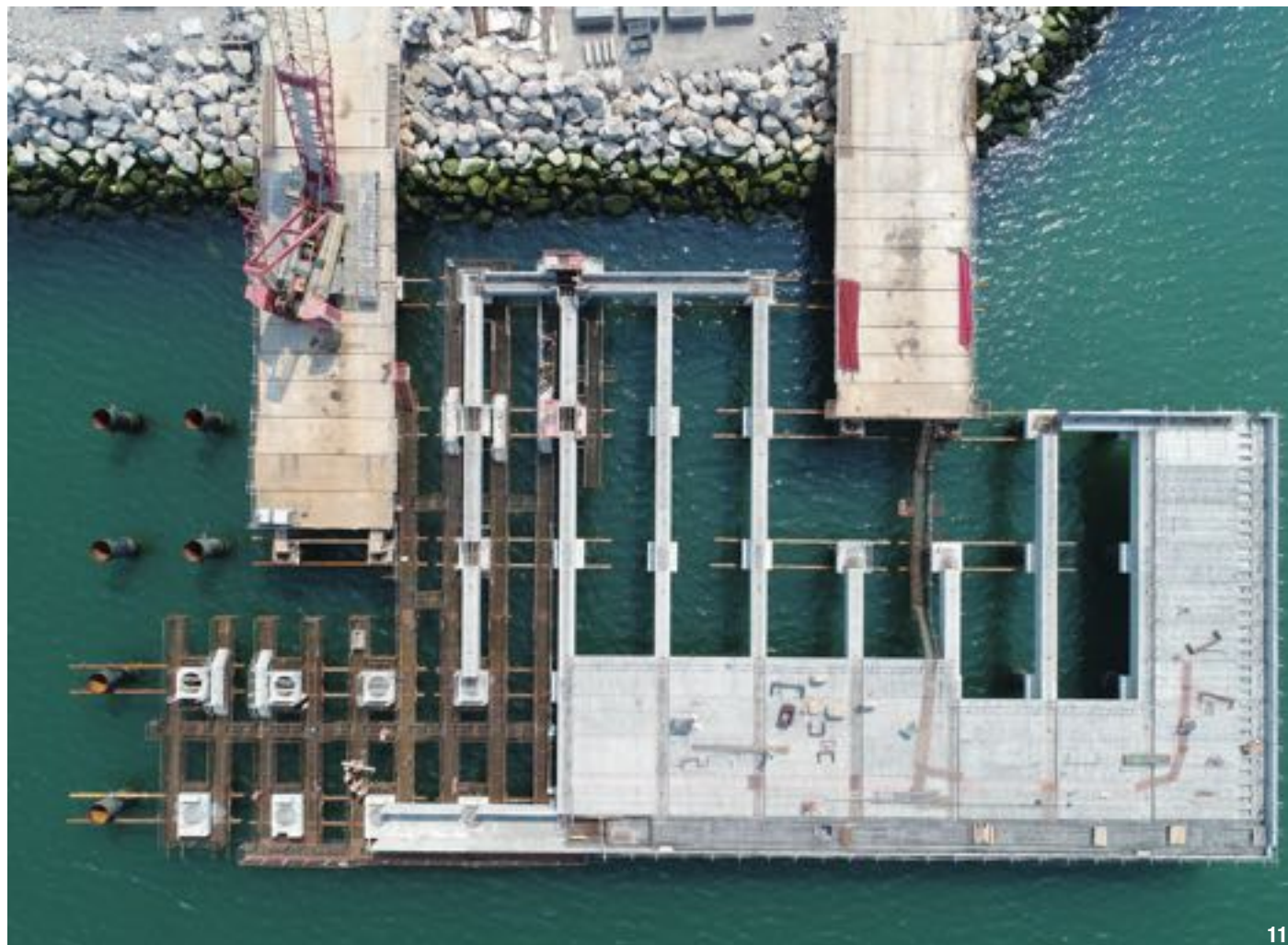
### Guide pour battage des pieux

L'atelier de battage constitué d'une grue flèche treillis de 250 t, un vibrofonceur ICE 815 et un marteau hydraulique IHC S90 a poursuivi ses travaux en circulant sur des plateaux métalliques de dimensions adaptées à l'entr'axe des pieux (figure 6).

### Pose des enrochements 2/4 t de protection du talus

Après mise en place des pieux, des enrochements de taille 2/4 t ont été posés au grappin en rang serré sur le talus (figure 8).

Ces enrochements ont pour finalité de protéger le talus du jet d'hélice des ferries. Leur pose est donc une étape clé dans la tenue dans le temps de l'ouvrage, laquelle a fait l'objet d'un contrôle par bathymétrie à grande définition.



11

© BOUYGUES TP



12

© BOUYGUES TP

### Pose des éléments de la poutre magistrale (figure 9)

- Pose des chapiteaux et des poutres : Successivement, il a été procédé à la mise en place des chapiteaux préfabriqués en tête des pieux, à la réalisation des bouchons en béton en tête des pieux, puis à la mise en place des poutres longitudinales avec clavage sur appuis (figures 9 et 10).
- Pose des dalles préfabriquées : Le chantier de la dalle se poursuit par les ferrillages et le bétonnage de la poutre magistrale en 3 levées, l'élément préfabriqué étant calculé en coffrage perdu, puis pose des éléments de dalle préfabriqués de largeur 6,5 m (figure 11).
- Ferrailage de la dalle de compression : La figure 12 montre l'état de l'ouvrage début octobre, le ferrailage de la dalle de compression étant en cours avant bétonnage. On notera que les rideaux parafouilles

### 12- Ferrailage de la dalle de compression.

### 12- Compression slab reinforcing bars.

ont été réalisés avant la réalisation des poutres transversales côté terre coulées en place, dans lesquelles viennent s'ancrer au moyen de cages à rotules les tirants de reprise des efforts d'amarrage des ferries. Les équipements et les structures de passerelles de lamanage seront réalisés mi 2019, la plateforme du poste d'accostage P10 devant servir, après installations des protections ad hoc, de quai de chargement pour la réalisation par moyens maritimes des structures des postes d'accostage P11 et P12, tout ceci avant le montage de la passerelle piéton du poste d'accostage P10. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

- SURFACE DU QUAÏ (PLATEFORME PRINCIPALE + 2 PASSERELLES) :** 4240 m<sup>2</sup> + 2x180 m<sup>2</sup>
- NOMBRE DE PIEUX DE FONDATION :** 68
- POIDS TOTAL D'ACIERS POUR LES PIEUX :** 1 450 t
- VOLUME DE BÉTON PRÉFABRIQUÉ :** 1 275 m<sup>3</sup>
- VOLUME DE BÉTON COULÉ EN PLACE :** 1 575 m<sup>3</sup>
- RATIO MOYEN D'ARMATURES :** environ 143 kg/m<sup>3</sup>

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

- AUTORITÉ CONCÉDANTE :** Région Hauts-de-France
- CONCESSIONNAIRE :** Société d'Exploitation des Ports du Déroit
- MAÎTRE D'OUVRAGE :** Société des Ports du Déroit
- GROUPEMENT CONCEPTEUR-RÉALISATEUR :** Bouygues Travaux Publics, Bouygues Travaux Publics Régions France, Spie Batignolles Génie Civil, Spie Batignolles Nord, Valérian, Malet, Colas Nord Est, Jan de Nul
- INGÉNIERIE INTÉGRÉE AU CR :** Arcadis

## ABSTRACT

### CALAIS PORT 2015: CONSTRUCTION OF A QUAY TO RECEIVE FERRIES

NADÉGE CHABERT, ARCADIS - DIDIER MEURISSE, ARCADIS - PATRICK MICHEL, SPIE BATIGNOLLES

The first phase of the Calais Port 2015 project, awarded to a consortium under a Design and Build contract in February 2015, will be delivered in January 2021. The first years of construction were largely devoted to the maritime structures, with in particular the construction of part of the new dyke, dredging of the future dock, execution of quayage won from the sea and construction of one of the three new mooring stations for ferries. This article goes back over the challenges involved in the design and execution of mooring station P10, the first ferry berth, of the pile-supported wharf type. □

### CALAIS PORT 2015: CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE PARA FERRIES

NADÉGE CHABERT, ARCADIS - DIDIER MEURISSE, ARCADIS - PATRICK MICHEL, SPIE BATIGNOLLES

La primera fase del proyecto Calais Port 2015, cuyo diseño y realización fueron encargados a un consorcio de empresas en febrero de 2015, se entregará en enero de 2021. Los primeros años de obras se han centrado en las construcciones marítimas, en particular la construcción de una parte del nuevo dique, el dragado de la futura dársena, la realización de los terraplenes ganados al mar y la construcción de uno de los tres nuevos puestos de atraque para ferries. El presente artículo trata de los desafíos relacionado con el diseño y la realización del puesto de atraque P10, el primero de los puestos de acogida de ferries, de tipo muelle sobre pilotes. □



1  
© BOUYGUES TP

# LA GRANDE DIGUE DE CALAIS 2015

AUTEURS : VALÉRIE LEFEBVRE-MIGNON, CHEF DE PROJET POUR L'INGÉNIERIE INTÉGRÉE, ARCADIS - DIDIER MEURISSE, DIRECTEUR ADJOINT DE L'INGÉNIERIE INTÉGRÉE, ARCADIS - IRÈNE CADART, INGÉNIEUR TRAVAUX/DIGUE, BOUYGUES TP

**CONFIÉE EN CONCEPTION-RÉALISATION À UN GROUPEMENT D'ENTREPRISES EN FÉVRIER 2015, LA PREMIÈRE PHASE DU PROJET CALAIS PORT 2015 SERA LIVRÉE EN JANVIER 2021, AVEC À CE JOUR, LA NOUVELLE DIGUE PRINCIPALE CONSTRUITE À PLUS DE 80%, LE DRAGAGE DU FUTUR BASSIN ET LA RÉALISATION DES TERRE-PLEINS GAGNÉS SUR LA MER TERMINÉS ET LA CONSTRUCTION D'UN DES TROIS NOUVEAUX POSTES D'ACCOSTAGE POUR FERRIES EN COURS.**

## UN NOUVEAU PORT À CALAIS

En cours de construction depuis avril 2016, Calais Port 2015 est un projet destiné à adapter l'actuel premier port passagers français aux évolutions futures attendues d'un point de vue augmentation de la taille des navires et des trafics, et évolution des modes de transport des marchandises.

Ce projet consiste en (figure 2) :

→ Des digues de protection en encochements (environ 4,8 km de linéaire) dont la digue principale de 3,3 km limitant le nouveau bassin d'accueil des navires de 90 ha ;

→ 65 ha de terre-pleins dont 45 ha gagnés sur la mer par remblais hydrauliques de sables dragués (plateformes du Terminal Trans Manche TTM) ;

→ 3 nouveaux postes d'accostage pour ferries ;

→ Et l'aménagement des superstructures portuaires et la refonte de tous les accès.

## DÉFINITION ET RÔLE DE LA DIGUE PRINCIPALE

La digue de 3,3 km de longueur, fil rouge du chantier, a pour fonction principale de limiter au Nord le nouveau

**1- État d'avancement de la digue en octobre 2018.**

**1- State of progress on the dyke in October 2018.**

bassin portuaire et de le protéger vis-à-vis des houles pour garantir une agitation dans le port inférieure à 1,0 m. Elle doit aussi, sur son premier kilomètre, tout comme les perrés Est et Ouest, constituer et garantir la péren-

nité des limites des plateformes soumises à la houle tout en les protégeant vis-à-vis des franchissements. Il s'agit d'une digue à talus de 6 m à 22 m de hauteur, constituée d'un noyau en tout-venant protégé par une carapace (en blocs naturels puis artificiels), par l'intermédiaire de sous-couches (figure 3).

## DIMENSIONNEMENT ET OPTIMISATION

S'agissant d'une digue en mer, le dimensionnement est avant tout régi par les contraintes hydrauliques et notamment les houles du large pro-



Les dimensionnements analytiques ont ensuite été validés et affinés par des essais en modèles physiques réalisés au laboratoire DHI à Copenhague (figure 4). Trois principaux modèles physiques en canal 2D ont été réalisés ainsi que trois en cuve à houle (3D). Ces essais ont permis entre autres :

- Une validation des cotes d'arase ;
- Une adéquation de la taille des blocs et un renforcement au droit des zones de focalisation des houles.

Ces différents ouvrages ont également été vérifiés, comme tout ouvrage classique, d'un point de vue :

- Stabilité géotechnique avec et sans séisme, Calais se situant en zone sismique faible ;
- Liquéfaction des sols de fondation, ces derniers étant constitués des Sables Flandriens reposant sur l'Argile des Flandres avec, dans ces sables, des horizons silteux plus ou moins argileux ou des sables lâches potentiellement liquéfiables : les études ont montré que le risque est écarté ;
- Tassement.

#### DÉMARCHE ADOPTÉE VIS-À-VIS DES TASSEMENTS

La digue principale présente deux types de sections :

- Des sections dites "peu franchissables" avec terre-plein à l'arrière de la crête ou du mur de crête, pour lesquelles des critères de débit à l'aval de l'ouvrage sont à respecter ;



5  
© ARCADIS

- Des sections dites "franchissables" sans terre-plein arrière pour lesquelles ce sont des critères de stabilité et d'agitation à l'aval de l'ouvrage qui sont à respecter.

Elle a donc été dimensionnée pour respecter tous ces critères, pendant toute la durée de vie (100 ans), en tenant compte de l'élévation du niveau de la mer, de l'évolution prévisible des fonds mais aussi des tassements prédits.

Ce dimensionnement a permis de définir des cotes minimales à garantir d'un point de vue hydraulique à 100 ans, c'est-à-dire des cotes de crête ou de mur sous laquelle l'ouvrage ne doit pas être dans 100 ans.

#### 5- Exemple de cible topographique mise en place.

#### 6- Stocks d'enrochements et de X-Blocs sur chantier.

#### 5- Example of topographic target in place.

#### 6- Stocks of rockfill and X-Blocks on site.

Il s'agit donc de s'assurer qu'après tassements des ouvrages, ces cotes finales sont toujours respectées.

À cette fin, des provisions pour tassement ont été prises en compte lors de la construction, c'est à dire que des sur-hauteurs ont été définies afin de pallier les tassements différés (du corps de digue mais aussi des sols d'assise) entre la fin de construction et 100 ans plus tard (les tassements élastiques étant consommés pendant la construction).

La digue principale étant construite en 2 étapes au minimum (étape 1 sans mur de couronnement ou sans carapace de crête, puis étape 2 : fermeture en crête), ces provisions sont intégrées lors d'une première phase travaux (construction partielle de l'ouvrage hors couronnement).

Des plots de tassement sont mis en place en crête de digue et suivis, de façon hebdomadaire par nivellement topographique depuis la fin de construction de la première étape jusqu'au début de construction de la deuxième étape. Il s'agit de cibles spi-tées sur les enrochements ou X-blocs de carapace, protégées des passages d'engins, et disposées tous les 10 m (figure 5).

Les mesures sont ensuite comparées aux estimations. Les modèles géotechniques de calcul sont recalés si besoin pour valider les extrapolations faites à moyen et long terme. Si nécessaire également, avant finalisation de la crête, des ajustements sont opérés



6





7

© ARCADIS

comme le maintien ou non de la provision pour tassement ou une mise à jour de cette provision et une adaptation des dispositions constructives.

On notera qu'un tel suivi topographique d'une digue en mer en construction ne peut être effectué que lorsque les travaux sont arrêtés (pour des raisons de sécurité, le topographe ne peut aller sur les digues lorsque les camions y circulent, les largeurs en crête étant limitées à 8-10 m). L'interprétation des mesures est également compliquée par le fait que les ouvrages suivis sont régulièrement circulés, ce qui peut être à l'origine de mouvements de blocs indépendants de la problématique tassement.

**7- Usine de préfabrication.**

**8- Principaux matériels maritimes utilisés.**

**9- Support maritime équipé de grues puissantes.**

**7- Prefabrication plant.**

**8- Main floating equipment used.**

**9- Floating platform equipped with powerful cranes.**

L'analyse des mesures de tassement, leur comparaison avec les estimations, la mise à jour des hypothèses des modèles de calcul et l'adaptation des dispositions constructives, jusqu'à la finalisation de l'ouvrage, font l'objet d'une mission géotechnique G3, assurée par Arcadis.

Une fois l'ouvrage terminé, de nouveaux plots de tassement seront mis en place en crête et des mesures de tassements seront effectuées jusqu'à la livraison du projet pour vérifier les extrapolations réalisées.

**LES ENROCHEMENTS NATURELS**

Au total 6 catégories d'enrochements naturels allant du 0,3-1 t au 3-6 t ont

été fabriqués pour un total de 4,6 millions de tonnes (dont 2,6 Mt pour le TVC de noyau).

Ces enrochements proviennent en majorité des carrières françaises du Boulonnais, le reste étant d'origine norvégienne et espagnole pour un approvisionnement et une mise en œuvre par voie maritime (figure 6).

Au total, pour respecter les plannings de mise en œuvre, 9 carrières approvisionnent le chantier.

**LES BLOCS ARTIFICIELS X-BLOCS**

16 000 X-Blocs sont prévus d'être fabriqués et mis en œuvre en carapace sur les digues et perrés de Calais, en 6 catégories de 4 m<sup>3</sup> à 12 m<sup>3</sup>.



8



9

© ARCADIS



10



11

Il s'agit de blocs béton non armés à 6 branches, brevetés par DMC (Delta Marine Consultant) et mis en œuvre de façon maillée en monocouche.

Environ 1 500 Xblocs 4 m<sup>3</sup> ont été fabriqués dans un premier temps par la méthode traditionnelle en attente de construction d'une unité de préfabrication automatisée des Xblocs, fonctionnelle depuis septembre 2016.

Cette unité, située sur le chantier à proximité de la centrale à béton, permet un fonctionnement en automatique des postes de bétonnage, décoffrage, transfert d'un poste à l'autre et d'évacuation hors de l'unité, dans le but d'optimiser au maximum les cadences de production (figure 7).

Environ 13 000 Xblocs de 4, 6, 8, 10 et 12 m<sup>3</sup> ont déjà été fabriqués à fin septembre 2018. L'usine réalise actuellement la production de X-Blocs 12 m<sup>3</sup>.

#### L'AVANCEMENT DES TRAVAUX DE LA DIGUE

Une première partie des travaux de la digue a été réalisée par moyens terrestres jusqu'au point métrique 450, à partir duquel une première phase de

travaux est réalisée par voie maritime par Sodracco (filiale de Jan de Nul).

Les figures 8 et 9 montrent les principaux matériels maritimes qui ont servi à réaliser quelques dragages, puis les butées de pied en enrochements et le remplissage partiel du noyau en matériau wide-grade 0-200 provenant des carrières norvégiennes, approvisionnés par bateau et repris sur site par une *dipper dredge* (*Gian Lorenzo Bernini*, équipé pour draguer jusqu'à une profondeur de 20 m avec un godet de 7 m<sup>3</sup> et une puissance installée de 2 150 kW). Cette partie maritime terminée, ces matériels ont permis de draguer le futur bassin tout en réalisant les remblais hydrauliques des 45 ha de terre-plein du projet gagnés sur la mer. Cette phase a été contrôlée par bathymétrie quotidienne, nivellement et réglage GPS par le *dipper*.

Les phases suivantes ont été réalisées par voie terrestre selon le phasage suivant.

La vérification du réglage du *wide grade* est faite afin que le profil permette de mettre en place une épaisseur minimale

**10- Transport des blocs par dumper.**

**11- Enchaînement des plateformes.**

**12- Grue utilisée pour placer les blocs.**

**13- Bloc en cours de pose.**

**10- Transport of blocks by dumper.**

**11- Platform sequencing.**

**12- Crane used to place blocks.**

**13- Block being placed.**

couches sont ainsi tracés de sorte à pouvoir être contrôlés, principalement par rapport aux tolérances d'épaisseur de couches issues du *rock manual*. Les enrochements des différentes couches sont repris au stock constitué sur le site et véhiculés par dumper de 15 à 25 m<sup>3</sup> de charge (figure 10). Afin d'optimiser les durées de travail, compte tenu de l'importance des marges jusqu'à 8 m, la digue est avancée aux 2 marées quotidiennes en 4 plateformes successives aux cotes 3 CM, 6 CM, 8,5 CM et 10 CM en permettant sur un même site l'alternance des ateliers (figure 11). Ce travail par plateformes successives a permis d'optimiser les mesures de sauvegarde en fonction des prévisions de la météo marine.

3 pelles hydrauliques boostées (Hitachi EX 1200 de 180 t avec bras de 32 m, Liebherr R 974 de 140 t et Hitachi EX 1900) travaillent aux côtés des transports et bulls de régalinge du TVC pour établir les profils des différentes couches jusqu'au réglage fin de la sous couche destinée à recevoir la pose de la carapace monocouche en Xblocs.

de TVC, de sorte à assurer une condition de filtre entre couches. Ce contrôle se fait par pelle hydraulique équipée en GPS en lien wifi avec les services topo du chantier. Les profils des différentes



12



13



14

© BOUYGUES TP

Les figures 12 et 13 montrent l'équipement de la Hitachi 1900 (masse de 300 t) capable de déplacer 24 t à 32 m de portée, en état de prendre en charge un XBloc préalablement équipé de son "BIB" pour le système de positionnement Posibloc™. Le système Posibloc™ a été développé pour permettre la pose des blocs de carapace d'ouvrages en mer (digues, tunnels sous-marins, ...) dans des conditions difficiles ou dangereuses : forte houle, mauvaise visibilité. Le Boîtier Instrumenté Bloc (ou BIB) est un système électronique fixé au bloc de béton que l'on souhaite poser au moyen de 3 chevilles en béton. Une fois solidaire du bloc qui est en cours de pose, le BIB retransmet, au calculateur présent sur la grue, la configuration spatiale dans laquelle il se trouve. La figure 13 montre l'intérieur de la cabine de pilotage avec notamment l'écran de contrôle du positionnement du bloc par rapport au théorique. Le système échoscopes est utilisé pour contrôler le positionnement relatif sous l'eau. Pour les XBlocs hors d'eau un survol drone est réalisé et les vues sont adressées à DMC pour validation des positionnements relatifs des XBlocs.

#### 14- État d'avancement de la protection des terre-pleins en octobre 2018.

#### 14- State of progress on protection of the quayage in October 2018.

La figure 1 montre une vue de la digue à octobre 2018, dont le front d'avancement est arrivé à son terminus. Selon les sections, l'équipe a atteint des avancements de la section terrestre entre 100 et 150 m par semaine (hors chasse-mer). Il reste alors à réaliser le mur chasse-mer qui est en cours de travaux, les premiers 1 000 m de digue servant d'enceinte aux terre-pleins gagnés sur la mer (figure 14). Sur cette vue, il reste à réaliser le mur vertical puis à refermer la carapace XBloc sur ce voile. En conclusion, le chantier fait la part belle aux technologies modernes de

positionnement GPS, aux relevés par drones et aux interprétations informatiques. Ces technologies, alliées au progrès des prévisions de météo marine, permettent un avancement optimum de la

digue tout en minimisant les risques. Le chantier de la digue n'a pas connu à ce jour de dommage significatif, des mesures de sauvegarde ayant été prises en temps utile en fonction des prévisions météo. □

### PRINCIPALES QUANTITÉS

- Linéaire de la digue principale : 3 300 m
- 6 catégories d'enrochements naturels allant du 0,3-1 t au 3-6 t pour un total de 4,6 millions de tonnes (dont 2,6 Mt pour le TVC de noyau) pour la digue principale et les perrés
- 9 carrières d'approvisionnement dont les carrières françaises du Boulonnais en majorité
- 16 000 X-Blocs en 6 catégories de 4 m<sup>3</sup> à 12 m<sup>3</sup>

### DIFFÉRENTS INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Société des Ports du Détroit

**UN GROUPEMENT CONCEPTEUR-RÉALISATEUR AVEC :**

- Un groupement d'entreprises dont principalement Bouygues Travaux Publics mandataire, Colas, Spie batignolles et Sodraco
- Une Ingénierie Intégrée dont Arcadis, mandataire, chargée de la conception et de la supervision des travaux

#### ABSTRACT

#### THE MAIN DYKE OF CALAIS 2015

VALÉRIE LEFEBVRE-MIGNON, ARCADIS - DIDIER MEURISSE, ARCADIS - IRÈNE CADART, BOUYGUES TP

The first phase of the Calais Port 2015 project, awarded to a consortium under a Design and Build contract in February 2015, will be delivered in January 2021. At present, the new (main) dyke has been more than 80% built (first stage without coping wall or without top cover to allow traffic), and dredging of the future dock and execution of quayage reclaimed from the sea by breast walls have been completed. Construction of one of the three new ferry mooring stations is in progress. This article describes the design of the main dyke, the approach adopted regarding subsidence and the construction work for this dyke. □

#### EL GRAN DIQUE DE CALAIS 2015

VALÉRIE LEFEBVRE-MIGNON, ARCADIS - DIDIER MEURISSE, ARCADIS - IRÈNE CADART, BOUYGUES TP

La primera fase del proyecto Calais Port 2015, cuyo diseño y realización fueron encargados a un consorcio de empresas en febrero de 2015, se entregará en enero de 2021. A día de hoy se ha construido más del 80% del nuevo dique principal (primera etapa sin muro de coronación o sin muralla en cresta para permitir la circulación), y el dragado de la futura dársena y la realización de los terraplenes ganados al mar mediante escolleras han terminado. La construcción de uno de los tres nuevos puestos de atraque para ferries está en curso. El presente artículo trata del diseño del dique principal, del procedimiento adoptado para los asentamientos y de las obras de construcción del dique. □



1

© GROUPEMENT C/R

# REFONTE DU PORT SECONDAIRE DE L'ÎLE LONGUE DANS LA RADE DE BREST

AUTEURS : ANNE HONNEUR, CHEF DE SERVICE AGENCE DE RENNES, INGEROP CONSEIL ET INGÉNIERIE - OLIVIER THOMAS, INGÉNIEUR ÉTUDES ET TRAVAUX, MARC SA - ALAIN PAULIN, DIRECTEUR D'EXPLOITATION, ETMF

**LES TRAVAUX RÉALISÉS AU PORT SECONDAIRE DE L'ÎLE LONGUE PERMETTENT D'AMÉLIORER ET DE SÉCURISER LA CIRCULATION DES PASSAGERS ACCÉDANT AU SITE. LA CONCEPTION ET LA RÉALISATION DES OUVRAGES A ÉTÉ GUIDÉE PAR DE FORTES CONTRAINTES RELATIVES À L'ERGONOMIE DE CIRCULATION MAIS ÉGALEMENT PAR LA PRISE EN COMPTE DU MARNAGE IMPORTANT DANS LA RADE DE BREST. LA CONSTRUCTION DES DEUX PONTONS EN BÉTON ARMÉ, DE LEURS SUPERSTRUCTURES ET DES PASSERELLES D'ACCÈS A DÉBUTÉ EN MARS 2018 POUR UNE MISE EN SERVICE EN AOÛT ET SEPTEMBRE 2018.**

## LE CONTEXTE DU PROJET

Le site militaire de l'Île Longue, dédié à l'accueil des sous-marins nucléaires, est situé sur la presqu'île de Crozon dans le Finistère.

De nombreux personnels travaillent sur site et vivent dans la région de Brest, de l'autre côté de la rade. Un service de navettes "Transrade" assure quotidiennement en 30 minutes la liaison entre la Base

Navale de Brest et le Port Secondaire de l'Île Longue (figure 1).

Le Port Secondaire dispose de 3 postes en exploitation qui permettent chacun l'accostage d'un navire sur un ponton flottant en béton armé. Les quais et pontons en béton armé dataient des années 70.

Le Port Secondaire était composé de 4 postes dont 3 restaient en exploitation : Bravo, Charlie et Delta. Les postes

## 1- Vue générale.

### 1- General view.

d'origine étaient composés comme suit :

→ Poste B : ponton en béton armé plein avec radier, maintenu par pendeurs ;

→ Postes C et D : deux pontons en béton de même type qu'au poste B, ces pontons étaient accolés et maintenus ensemble par l'intermédiaire de câbles d'acier. Le podium commun aux deux postes reposait partiellement sur chacun des deux postes.

Chacun des postes en exploitation nécessitait une refonte pour permettre une amélioration des conditions d'accès. Les postes C et D nécessitaient, quant à



© GROUPEMENT C/R  
2

eux et en complément, une optimisation de leur fonctionnement en parallèle.

### DESCRIPTIF DU PROJET

Les objectifs du projet de la refonte du Port Secondaire ont été les suivants :

- Sécuriser la circulation des personnes entre les navires et le quai ;
- Améliorer le flux de passagers (400 passagers en 5 mn par poste) ;
- Garantir le service à tout moment du cycle de marée (marnage d'environ 9 m) ;

**2- Pendeur et chaînes du poste B.**  
**3- Oreille de guidage du poste CD.**

**2- Hanger and chains of berth B.**  
**3- Guide lug of berth CD.**

- Maintenir une continuité de service au Port Secondaire en phase travaux ;
- Conception (phase PRO) et réalisation des ouvrages en 12 mois.

Les travaux ont consisté en la réalisation de :

- Pontons en béton armé à noyau interne en polystyrène expansé ;
- Podiums métalliques permettant un cheminement sécurisé à tout moment ;
- Passerelles d'accès à faible pente ;

- Adaptation des quais aux nouveaux pontons et à l'augmentation du niveau d'eau ;
- Démantèlement des anciens pontons.

L'organisation choisie en conception-réalisation par le maître d'ouvrage a permis d'optimiser le planning du projet pour autoriser une mise en service des pontons une année après la notification du contrat au groupement.

### LES CONTRAINTES TECHNIQUES

#### LES PONTONS EN BÉTON ARMÉ

Le port secondaire est constitué, après travaux, de 2 pontons (appelés "ras") sur lesquels sont répartis 3 postes d'accueil de navires : Bravo, Charlie et Delta.

Les pontons ne possèdent pas de radier. La flottabilité est assurée par des blocs de polystyrène expansible. Pour un franc bord équivalent, cette technique permet de diminuer le tirant d'eau du ponton.

Le ras B possède un unique poste d'accueil. Ses dimensions sont les suivantes :

- Longueur : 22,2 m ;
- Largeur : 7,6 m ;
- Franc bord : 1 m ;
- Tirant d'eau : 2 m.

Pour le ras CD, il a été retenu la construction d'un ras unique pour les deux postes permettant un fonctionnement global monolithique, notamment vis-à-vis des circulations.



© GROUPEMENT C/R  
3

Ses dimensions sont les suivantes :

- Longueur : 18 m ;
- Largeur : 13 m ;
- Franc bord : 1 m ;
- Tirant d'eau : 1,6 m.

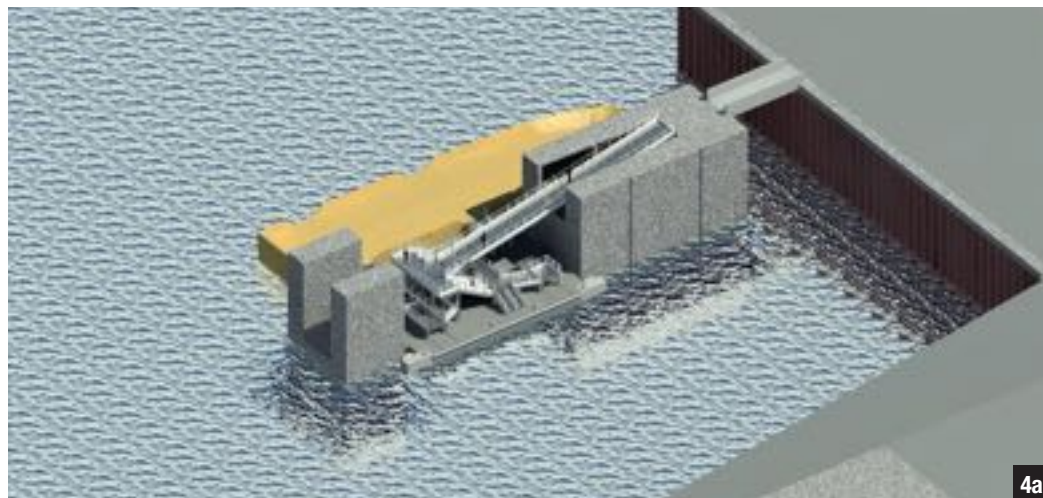
Un système de pendeur avec chaîne permet le maintien en position du ras B, tel qu'à l'initial. Les chaînes passent au travers du ponton via des écubiers métalliques et sont tendues verticalement à l'aide de corps-morts en fonte suspendus aux pendeurs (figure 2). Les défenses sur le front d'accostage du ras permettent la reprise de l'énergie d'accostage du navire. La réaction est ensuite transmise au quai via des défenses verticales en Azobé fixées sur toute la hauteur du quai.

Le ras CD est guidé grâce à des oreilles métalliques boulonnées au ponton et sur lesquelles sont fixées des défenses d'accostage en interface avec le génie civil du quai (figure 3). Les défenses cylindriques mises en place permettent la reprise de l'énergie d'accostage des navires du projet. Les pendeurs d'origine ont été supprimés, le ras étant maintenu en place et guidé par les structures existantes, par l'intermédiaire de défenses en caoutchouc ou azobé.

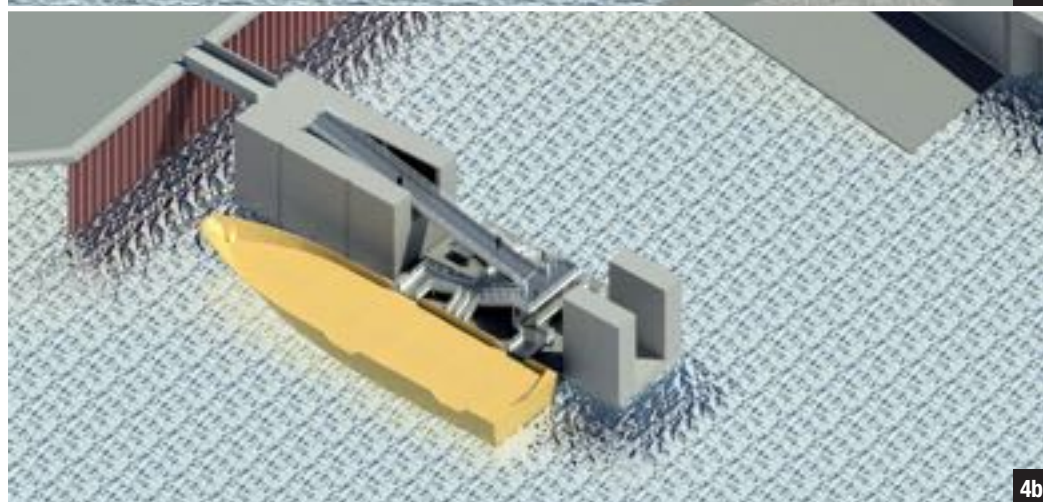
### LES SUPERSTRUCTURES D'ACCÈS

Sur chacun des 2 pontons, un podium métallique a été conçu afin d'obtenir une circulation la plus fluide et sécuritaire possible.

Les niveaux de circulation ont été adaptés par rapport aux dispositions d'origine. Initialement la circulation prévoyait une descente des navires sur le ponton par l'intermédiaire d'un podium mobile de descente sur le pont du ras. Ensuite



4a



4b

la circulation vers le quai se faisait par l'intermédiaire d'un escalier à pente forte, puis finalement d'une passerelle. Il a alors été retenu de minimiser les montées et descentes entre le bateau et le terre-plein, en prévoyant un niveau de débarquement aligné par rapport

**4- Podium.**  
**5- Étrave du navire à l'accostage.**

**4- Podium.**  
**5- Ship stem at berthing.**

au niveau de descente des navires, soit 1 m au-dessus du pont du ras. Le niveau haut des podiums est positionné 3,5 m au-dessus du pont des ras (figures 4). Ce niveau permet de limiter la pente des passerelles à 12° aussi bien en descente (à marée basse)



5a

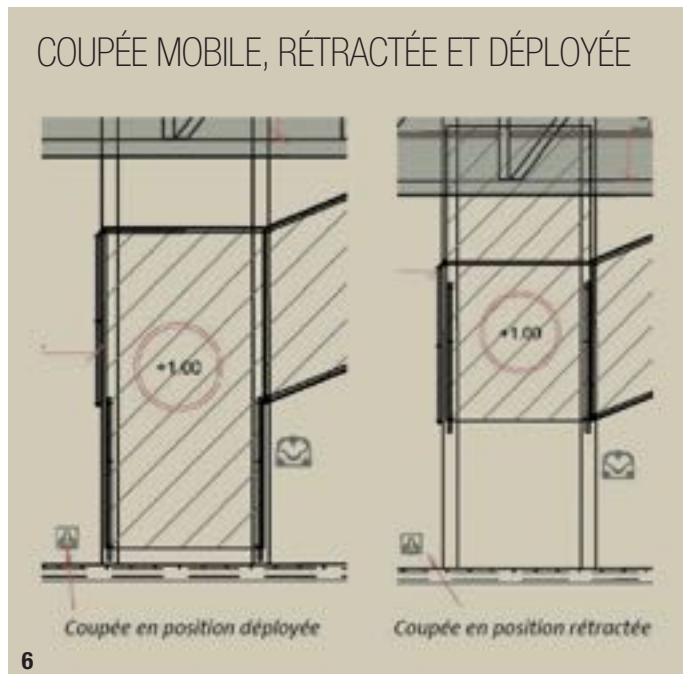
### ÉTRAVE DU NAVIRE À L'ACCOSTAGE



5b

qu'en montée (à marée haute). Le cheminement entre les deux niveaux des podiums est réalisé par des escaliers à l'avant et à l'arrière sur chacun des postes. Les couloirs de circulation et les escaliers disposent d'une grande largeur (1,80 m) et sont dépourvus d'obstacle au sol.

Une autre contrainte de conception a nécessité d'adapter la structure lors de l'accostage des navires. Les superstructures des ras ne doivent pas être positionnées à moins de 1,10 m du bord du ponton. Dans le cas contraire, la coque des navires risquerait d'entrer en collision avec le podium (figures 5). Il a alors été retenu la mise en place d'une coupée mobile sur rails permettant de libérer le front d'accostage des ras lorsqu'elle est réplée. Une fois le bateau amarré, la coupée mobile est déployée depuis le navire afin de permettre la circulation entre la coupée du navire et le podium (figure 6). La continuité des garde-corps est assurée sur la totalité de la circulation vers les navires Transrade, car cette disposition en repli permet également de venir assurer cette continuité. La circulation depuis le quai vers les navires est alors entièrement sécurisée et les passagers ne sont jamais amenés à circuler sur le pont du ras, espace uniquement réservé pour les phases de maintenance et d'entretien. Une exception est toutefois acceptée : outre les navires Transrade qui repré-



6  
© GROUPEMENT C/R

**6- Coupée mobile, rétractée et déployée.**  
**7- Montage du noyau en polystyrène expansé.**

**6- Movable gangway, retracted and deployed.**  
**7- Assembly of the expanded polystyrene core.**

sentent l'essentiel du trafic, des petites vedettes, dont le franc bord est beaucoup plus faible, accostent également sur les pontons. Un escalier permet pour chaque poste de descendre du podium sur la dalle du ras.

#### STABILITÉ DES PONTONS

Deux études ont été réalisées afin de vérifier le comportement des pontons en flottaison.

L'étude hydrostatique permet, dans un premier temps, de déterminer le tirant d'eau du ponton en fonction de sa géométrie et de ses charges, ainsi que les masses de lest à considérer afin permettre la correction des angles de gîte et de tangage. Cette étude vise en particulier à contrôler le critère de stabilité (le  $\rho$ -a) dans différentes configurations (ras léger sans équipements, ras équipé, ras équipé et chargé à 500 kg/m<sup>2</sup>). Le critère de stabilité a été retenu à 0,50 m minimum lors du remorquage et à 0,25 m en phase service. La géométrie retenue pour les pontons leur procure une réserve de stabilité importante.

En complément de l'étude statique, une étude hydrodynamique a été effectuée par l'intermédiaire d'un logiciel adapté. Les mouvements des pontons sont alors calculés suivant les conditions d'agitation du site au droit des pontons. Le clapot ainsi que les vagues créées par les mouvements de navires (batillage) sont pris en compte. L'effet du système de guidage est modélisé au moyen d'une matrice de raideur "extérieure" spécifiée dans le modèle de calcul. Cette matrice de raideur extérieure s'ajoute à la matrice de raideur hydrostatique du corps flottant. Les premières conclusions de cette étude ont permis de mettre en évidence la nécessité d'ajouter des systèmes additionnels pour contraindre le système. ▷



7  
© GROUPEMENT C/R



8

© GROUPEMENT C/R

Cela a été réalisé notamment via l'installation de défenses fixées au ponton dont la présence modifie la raideur du système.

### LES CONTRAINTES DE RÉALISATION

La principale contrainte de réalisation concerne les travaux sur le site de l'Île Longue. L'organisation des travaux doit prendre en compte le respect des procédures opérationnelles de fonctionnement d'un site militaire, qui est dédié à l'accueil des sous-marins nucléaires.

### MÉTHODE DE RÉALISATION ET PHASAGE

Les travaux de refonte des postes d'accostage se déroulent en 4 étapes majeures :

### CONSTRUCTION DES NOUVEAUX PONTONS EN FORME DE RADOUB

Compte tenu de la masse de la structure des pontons (environ 300 t), la réalisation sur un quai qui demanderait le levage des pontons pour leur mise à l'eau serait complexe. Par conséquent, de la même manière que dans le

**8- Ferrailage.**  
**9- Montage de la superstructure.**

**8- Reinforcing bars.**  
**9- Superstructure assembly.**

domaine de la construction navale, les pontons sont réalisés dans une forme de radoub. En l'occurrence, il s'agit du Bassin 4 de la Base Navale de Brest.

**Le phasage des différentes étapes constructives des pontons sont les suivantes :**

- 1-** Réalisation d'un marbre en fond de bassin ;
- 2-** Armatures des voiles intérieurs ;
- 3-** Montage du noyau PSE (figure 7) ;
- 4-** Armatures des voiles extérieurs et de la dalle (figure 8) ;
- 5-** Coffrage en totalité du ponton avec mise en œuvre d'inserts d'ancrage noyés ;
- 6-** Bétonnage ;
- 7-** Décoffrage ;



9

© GROUPEMENT C/R





© GROUPEMENT CFR  
10a

10b

- 8- Mise en place des équipements portuaires (défenses d'accostage, bollards, ...);
- 9- Mise en place des superstructures métalliques (figure 9);
- 10- Équilibrage pour remorquage;
- 11- Mise en eau de la forme de radoub.

**ENLÈVEMENT DES PONTONS EXISTANTS POUR DÉMANTÈLEMENT**

Les travaux sur les postes d'accostage ont été réalisés en deux étapes successives afin de maintenir un poste d'ac-

**10- Mise en place de la passerelle.**

**10- Placing foot bridge in position.**

costage opérationnel pour l'accostage des navettes Transrade :  
 → Déconnexion des réseaux ;  
 → Dépose de la passerelle et des superstructures ;  
 → Enlèvement du système de guidage ;

→ Enlèvement du ponton pour démantèlement.

**TRAVAUX D'ADAPTATION DES ÉQUIPEMENTS PORTUAIRES EXISTANTS POUR LEUR FUTUR USAGE**

→ Dépose des équipements portuaires existants ;  
 → Adaptation du génie civil (massifs de rehausse et massifs de pendeurs) ;  
 → Mise en place des défenses de protection des infrastructures de quai (défenses en azobé, plaques KLP) ;

→ Pose d'équipements portuaires (pendeurs, échelles) ;  
 → Adaptation des réseaux fluides et électriques.

**MISE EN PLACE DES NOUVEAUX POSTES D'ACCOSTAGE**

→ Remorquage du ponton jusqu'à son poste ;  
 → Ajout du système de guidage du ras ;  
 → Mise en place de la passerelle (figure 10) ;  
 → Connexion des réseaux ;  
 → Équilibrage final. □

**PRINCIPALES DIMENSIONS ET QUANTITÉS**

	Ponton CD	Ponton B
Géométrie de l'ouvrage	18 x 13 x 2,6 m	22,2 x 7,6 x 3 m
Volume de polystyrène	482 m <sup>3</sup>	393 m <sup>3</sup>
Volume de béton	126 m <sup>3</sup>	121 m <sup>3</sup>
Masse d'armatures	22,2 t	16,4 t

**PRINCIPAUX INTERVENANTS**

- MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Esid Brest
- ASSISTANT À MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Bri
- GROUPEMENT DE CONCEPTION/RÉALISATION :**
  - Concepteur : Ingerop Conseil et Ingénierie
  - Réalisateurs : Marc SA (mandataire), Etmf et Eml (charpente métallique),
- CONTRÔLEUR TECHNIQUE ET COORDONNATEUR SPS :** Bureau Veritas

**ABSTRACT**

**REVAMPING OF THE SECONDARY PORT OF ÎLE LONGUE IN THE RADE DE BREST**

ANNE HONNEUR, INGEROP - OLIVIER THOMAS, MARC SA - ALAIN PAULIN, ETMF

The floating docks of the secondary port of Île Longue are located in an area with severe operating constraints. Their function is to ensure the intense flow of passengers on the shuttles carrying personnel working on the Île Longue site, in all tide and swell conditions. Due to the project's access improvement requirements, as well as planning constraints, the consortium had to be very proactive to design and execute the works in a short period of time. The floating docks were built in a dry dock of the Brest Naval Base. □

**REFORMA DEL PUERTO SECUNDARIO DE ÎLE LONGUE EN LA RADA DE BREST**

ANNE HONNEUR, INGEROP - OLIVIER THOMAS, MARC SA - ALAIN PAULIN, ETMF

Los pontones del puerto secundario de Île Longue están implantados en una zona con fuertes restricciones operativas. Su función consiste en permitir el intenso flujo de pasajeros de los transbordadores que transportan al personal que trabaja en Île Longue, en cualquier condición de marea y oleaje. Las exigencias del proyecto en términos de mejora del acceso y las limitaciones de la planificación han exigido al consorcio una fuerte capacidad de reacción para diseñar y llevar a cabo las obras en un exiguo plazo. Los pontones se han construido en el dique seco de la Base Naval de Brest. □

# LES DIGUES DE LA NOUVELLE ROUTE DU LITTORAL (NRL) : DE LA CONCEPTION À LA RÉALISATION

AUTEURS : STEVEN LE CORRE, CHEF DE PROJET DIGUES NRL, EGIS PORTS - CÉLINE DE PLASSE, CHEF DE PROJET ENVIRONNEMENT NRL, EGIS ESE - STÉPHANE MAGNE, DIRECTEUR TECHNIQUE, GROUPEMENT GTOI / SPTPC / VCT

LA NOUVELLE ROUTE DU LITTORAL EST UN AXE STRATÉGIQUE POUR L'ÎLE DE LA RÉUNION : ELLE RELIE L'AÉROPORT ET LA CAPITALE SAINT-DENIS AU GRAND PORT MARITIME. CONCEPTEURS ET ENTREPRENEURS DE LA PARTIE EN DIGUES DE LA ROUTE RELÈVENT, DEPUIS PLUSIEURS ANNÉES, LES MULTIPLES DÉFIS LIÉS AUX OBJECTIFS DE PERFORMANCE ET DE DURABILITÉ DES OUVRAGES, À LA PRÉSERVATION DES ÉCOSYSTÈMES, OU À LA POSITION GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE DE CE PROJET HORS DU COMMUN. IL EST FAIT APPEL À DES TECHNOLOGIES ET DES MÉTHODOLOGIES DE CONCEPTION ET DE RÉALISATION D'ENVERGURE, NOTAMMENT DANS LE DOMAINE DES TRAVAUX MARITIMES.



© Timençabon / JÉRÔME BALLEVOIER

## INTRODUCTION

Située dans l'Océan Indien, sur l'Île de la Réunion la Nouvelle Route du Littoral relie la capitale régionale et l'aéroport à l'important bassin de vie de l'ouest et au Grand Port Maritime de l'île (figure 2). C'est un tracé routier neuf de 12 km dont plus de la moitié repose sur des digues gagnées sur la mer. Le maître d'ouvrage de l'opération est la Région Réunion. La plateforme, de plus de 30 m de largeur, est capable d'intégrer une 2x2 voies routières, un transport

collectif de type routier (bus), et une piste dédiée aux modes doux (piétons, vélos). Elle a également été conçue de manière à accueillir un mode de transport ferré en remplacement du bus, moyennant quelques aménagements. Le contexte morphologique et environnemental dans lequel s'inscrit la NRL est exceptionnel. Située entre falaise et océan, la conception des digues s'est adaptée aux risques induits, notamment les chutes de pierres et les effets des houles cycloniques.

**1- Front d'avancement de la digue.**

**1- Dyke development end.**

du projet : préservation de récifs coralliens se développant sur certains affleurements rocheux côtiers, respect des mammifères marins et de l'avifaune marine locale.

## LA CONCEPTION DES DIGUES

La conception de la digue a dû prendre en compte les aléas naturels du site : chute de blocs, éboulements en masse de la falaise (qui peut atteindre 200 m de hauteur) et franchissements par les houles cycloniques.

La construction des digues a démarré en 2014 dans un contexte environnemental très sensible. La préservation du milieu a été intégrée dès la conception



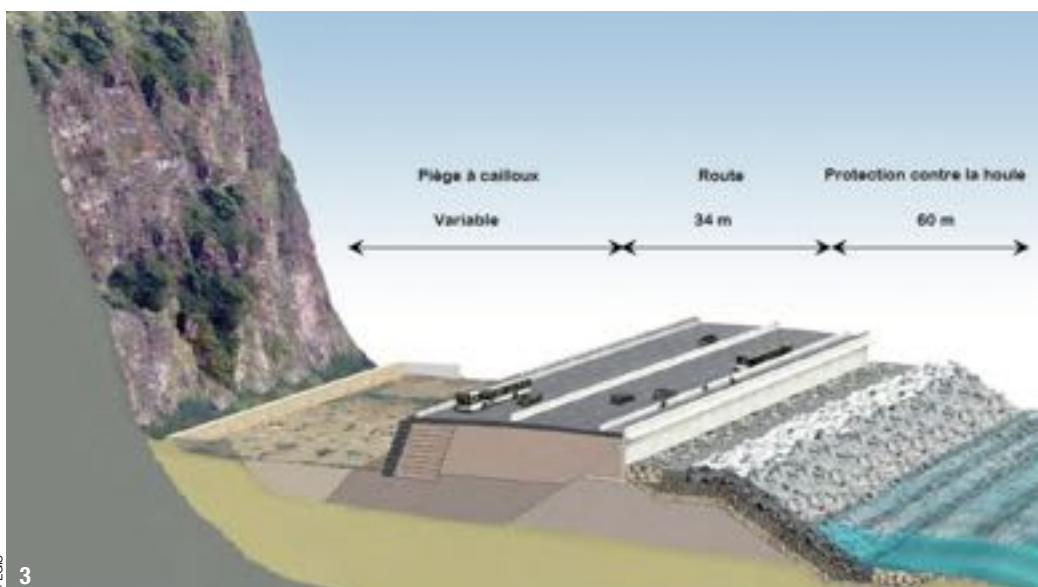
2

Côté terre, la digue est située à une distance suffisante du pied de falaise pour être hors d'atteinte d'éboulements de masse. La cote minimale du soutènement de la plateforme a été déterminée suite à des études de balistique de blocs pouvant tomber du haut de la falaise et rebondir dans une zone tampon appelée PAC "piège à cailloux". Côté mer, la structure de digue inférieure ainsi que le soutènement de la plateforme ont été conçus de manière à conserver l'intégrité structurelle de la digue en cas de houles cycloniques et à limiter les franchissements d'eau de mer (figure 3). La vitesse de référence retenue de 90 km/h plutôt que 110 km/h a permis de concevoir un

**2- Localisation du tracé de la Nouvelle Route du Littoral - Parties en digues et en viaducs.**  
**3- Image numérique d'une section de digue.**

**2- Route of the New Coastal Road - Dyke and viaduct sections.**  
**3- Digital image of a dyke cross section.**

tracé (rayons en plan et distances de visibilité) au plus proche du littoral tout en respectant les contraintes ci-dessus. Les quantités de remblais immergés et l'emprise sur les écosystèmes marins sont ainsi limités. Le banc corallien des Lataniers, constituant une des deux zones de plus forte sensibilité écologique marine sur ce secteur, a ainsi été préservé, en extrémité Sud-Ouest de la NRL. Des ouvrages traversent la digue pour assurer la transparence hydraulique depuis les ravines et la falaise jusqu'à la mer. Les eaux pluviales issues de la plate-forme routière sont collectées, stockées et traitées dans des bassins avant d'être rejetées dans le milieu



3

naturel.

La digue est constituée d'une partie inférieure, depuis le terrain naturel jusqu'à +3 m NGR. Les matériaux constitutifs sont, côté mer, un noyau en 1/500 kg, et côté terre, un remblai sélectionné de soubassement de granulométrie 0/300 mm. La protection côté mer est assurée par une carapace en blocs artificiels Accropode™II et Xbloc™ de 4 à 11 m³. La butée de pied de la digue, constituée d'enrochements de 3 à 5 t, est en partie ensoignée dans le sol (figure 4).

La partie supérieure de la digue suit le profil en long (jusqu'à +20 m NGR). Côté terre, la partie supérieure est constituée d'un talus raidi, sol renforcé par géosynthétique et protégé par un parement minéral en gabions. Côté mer, un mur en béton armé repose sur le noyau de 1/500 kg. Il est doté d'un déflecteur en tête.

En pied de ce mur "chasse-mer", des enrochements en 3/5 t assurent le drainage des eaux apportées par les vagues cycloniques.

Une voie bétonnée entre ces enrochements et la carapace ceinture la digue côté mer pour permettre l'accès aux engins de maintenance et d'entretien. Eu égard aux objectifs ambitieux du programme et du caractère exceptionnel de la digue, la démarche de conception s'est appuyée sur des études spécifiques basées sur des expertises de haut niveau. Le recours aux modèles physiques a été indispensable pour valider les critères de projet (stabilité, franchissements) et optimiser la conception (figures 5 et 6).

La conception des digues répond à une durée de vie de 100 ans, ce qui s'est traduit par des objectifs divers tels que :

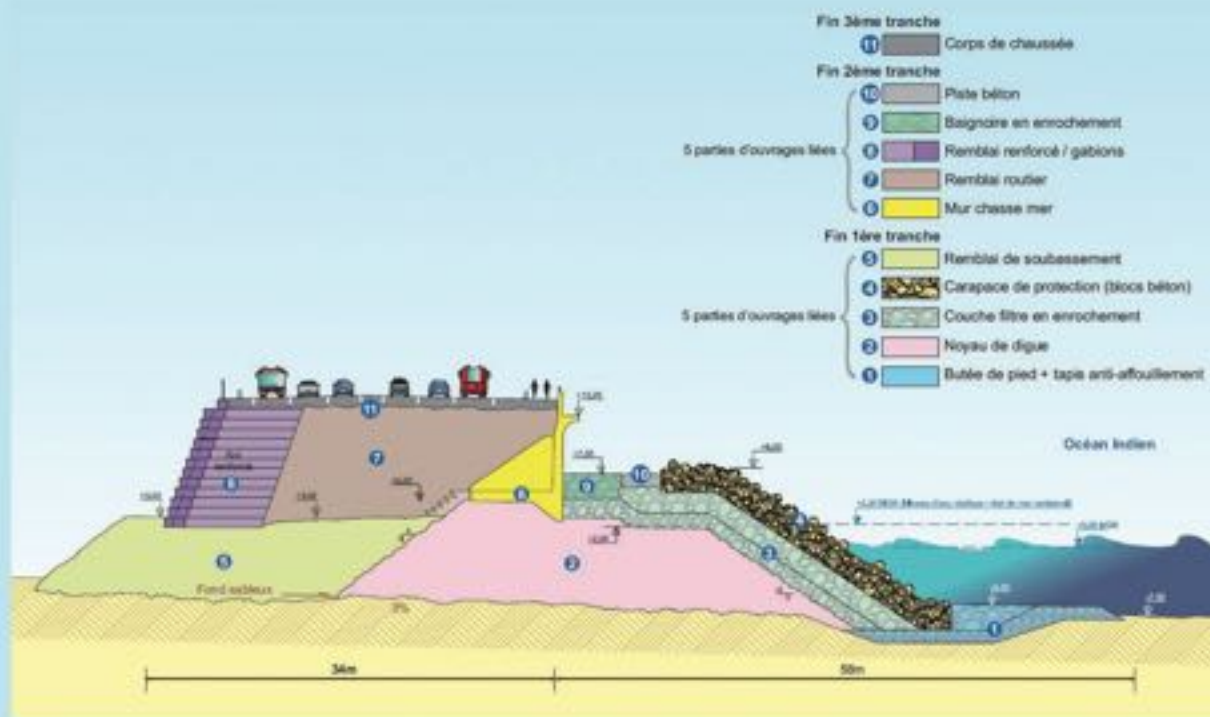
- La stabilité des digues, vis-à-vis des niveaux d'eau dans 100 ans (incidence du réchauffement climatique) et des houles cycloniques ;
- La qualité des matériaux, notamment des bétons (choix d'une approche performantielle) ;
- La capacité à supporter la quantité d'eau de mer atteignant la plateforme routière.

### CONSTRUCTION DE LA PARTIE INFÉRIEURE

La construction de la digue inférieure a fait appel à des technologies innovantes et à des outils hors-normes.

La souille de 436 000 m³, première étape de construction de la butée de la digue, a été réalisée au moyen du ponton *dipper Pinocchio*, l'un des plus puissants au monde.

## COUPE TYPE DE LA DIGUE



4 © EGIS

Il a atteint des cadences de dragage de 150 m<sup>3</sup>/h par 10 m de fond, au moyen d'un godet de 16 m<sup>3</sup> (figure 7). Les blocs de roche de la souille dépassant les capacités de dragage du *dipper* ont été fragmentés au moyen de cartouches pyrotechnique non-détonantes. Le principe est de générer une grande quantité de gaz non nocif et à très haute pression au sein du bloc, provoquant la fragmentation recherchée. La dépose des matériaux de souille (filtre 2/150 mm et enrochements 0,2/1 t) s'est faite au moyen d'un navire à déversement latéral.

Le navire à déversement latéral dispose de 4 casiers de 450 t de capacité.

Un système de positionnement dynamique (tenant compte des houles et des courants) permet au navire de se déplacer à une vitesse prédéfinie tout en déchargeant ses casiers, permettant ainsi un étalement des matériaux en épaisseur maîtrisée dans la souille. Ces phases de terrassement maritime mobilisent des matières en suspension qui peuvent, en forte concentration dans l'eau, porter atteinte au corail et à la biodiversité associée à ce biotope fragile.

Un dispositif de suivi en continu de la turbidité de l'eau et des prélèvements tri-hebdomadaires pour vérifier la

concentration en matières en suspension (MES) ont été mis en place dès les premiers travaux dans l'eau.

Les suivis réguliers des biocénoses marines attestent du maintien d'un développement corallien malgré les différentes pressions auxquelles elles sont exposées (travaux, apports terrigènes des ravines, épisode de blanchissement mondial des coraux en 2016).

Sur le plan faunistique, au moins 20 espèces protégées de cétacés fréquentent les eaux réunionnaises. Parmi celles-ci, le dauphin de l'Indo-Pacifique présent toute l'année et la baleine à bosse, durant l'hiver austral (période

### 4- Coupe type de la digue.

5- Essai en modèle réduit 2D (canal à houles) - Vague percutant le mur chasse-mer.

### 4- Typical dyke cross section.

5- 2D scale-model test (in wave channel) - Wave striking the sea wall.

de reproduction et de mise bas pour cette espèce).

Compte-tenu des risques d'effets du bruit sous-marin du chantier sur le comportement voire sur le système auditif de ces espèces, le niveau de bruit émis dans l'eau par les ateliers maritimes est mesuré en continu et suivi en temps réel grâce à la mise en place d'hydrophones immergés déployés à proximité du chantier. Il s'agit de vérifier que les seuils acoustiques fixés pour préserver les mammifères marins fréquentant la bande côtière ne sont pas dépassés. Par ailleurs, des mesures visant à éviter



5 © EGIS

- 6- Modèle réduit 3D (cuve à houles) en fin de construction.
- 7- Ponton dipper en cours de dragage.
- 8- Pose d'un bloc de carapace.
- 9- Pose et réglage des sous-couches du talus.

- 6- 3D scale model (wave tank) at end of construction.
- 7- Dipper pontoon during dredging.
- 8- Placing a cover block.
- 9- Placing and grading the embankment sub-layers.



© EGIS 6

ou réduire les impacts en phase chantier ont été mise en œuvre, mobilisant savoir-faire et capacités d'innovation de l'ensemble des acteurs du projet :

- Déploiement de dispositifs d'éloignement des individus (par augmentation progressive du bruit) ;
- Vérification de l'absence de mammifères marins dans la zone proche

des travaux bruyants avant démarrage (par observations depuis un ULM et détection acoustique des dauphins) ;

- Mise en place d'écrans acoustiques sous-marins (rideaux de bulles d'air) ;
- Choix de techniques moins bruyantes (utilisation d'explosifs sous-

marins non détonnants en remplacement du minage, comme décrit ci-avant).

Après la réalisation de la souille par voie maritime, la construction de la digue inférieure se poursuit par voie terrestre : mise en œuvre du noyau, du soubassement, des enrochements de sous-couche et pose des blocs de carapace.

Quels que soient les travaux en cours (réalisation de la souille, digues inférieures et supérieures), la planification des travaux tient compte de l'interdiction d'éclairer sur le chantier durant certaines périodes de l'année. Ces périodes correspondent aux périodes d'envol des jeunes puffins de Baillon et pétrels de Barreau, oiseaux ▷



© EGIS 7



© EGIS 8



9



10

© RÉGION RÉUNION



11

© GTO/SBTPC/VCT

marins susceptibles d'être désorientés par les sources lumineuses, de s'échouer au sol sans possibilité de reprendre leur envol.

Au-delà des cadences d'avancement conditionnées par les moyens matériels et l'approvisionnement en matériaux, les travaux de digue inférieure sont également conditionnés par (figure 1) :

- La protection du noyau et du sous-bassement de digue à l'avancement par les sous-couches et la carapace ;
- La création de casiers de décantation des fines contenues dans le sous-bassement en remblais 0/300 mm.

La pose des enrochements du talus immergé est réalisée au moyen d'une pelle à bras long de grosse capacité (figure 9).

Les principales quantités de matériaux à mettre en œuvre sont :

- Noyau 1/500 kg : 2 351 000 m<sup>3</sup> ;
- Sous-bassement 0/300 mm : 1 300 000 m<sup>3</sup> ;
- Enrochements de 200 kg à 5 t : 1 345 000 m<sup>3</sup>.

La pose des blocs de carapace est réalisée à la grue treillis doté d'un outil d'aide à pose. Dans sa cabine, le grutier dispose d'un écran de visualisation indiquant le plan de pose avec les positions théoriques des centres de gravité des blocs. Il est également possible de faire apparaître en temps réel sur l'écran l'attitude du bloc élingué. Des scaphandriers s'assurent du bon contact entre les blocs immergés (figure 8).

Le nombre total de blocs de carapace des digues de NRL est de 37 000 unités. Les cadences de pose peuvent atteindre jusqu'à 38 blocs par jour et par grue, la moyenne étant de 25 blocs par jour et par grue (figure 10).

#### CONSTRUCTION DE LA PARTIE SUPÉRIEURE

La plateforme supérieure de la digue est constituée de deux soutènements et de remblais. Les trois ouvrages se construisent selon un phasage bien défini : le mur chasse-mer tout d'abord, puis simultanément le talus raidi et le remblai routier. Le mur chasse-mer est en béton armé. Les formulations du béton sont issues de l'approche performantielle

**10- Vue d'ensemble d'un atelier de pose de carapace côté Le-Port.**

**11- Manutention d'un contrefort du mur chasse-mer.**

**12- Réalisation du mur chasse-mer au niveau d'un ouvrage hydraulique de traversée de la digue.**

**13- Réalisation du talus raidi.**

**10- General view of cover placing equipment on the Le-Port side.**

**11- Handling a sea wall buttress.**

**12- Execution of the sea wall at the level of a culvert passing through the dyke.**

**13- Execution of the stiffened embankment.**

afin d'atteindre une durée de vie de 100 ans. Certaines parties du mur sont coulées en place (bêche, semelle, voile et déflecteur), d'autres sont préfabriquées (contreforts). Les contreforts sont réalisés à plat sur les digues, au niveau d'aires de préfabrication dédiées. Un outil spécialement conçu pour le chantier permet de positionner les contreforts à la verticale afin de les poser au moyen d'une grue de forte capacité compte tenu du poids des pièces qui atteint 60 t (figure 11).

Le déflecteur est coulé en place au moyen d'un coffrage spécial, également réalisé pour le chantier (figure 12).

La quantité totale de béton de mur chasse-mer est de 175 000 m<sup>3</sup>.

Le talus raidi est constitué de nappes de renforts en géosynthétique de 5 à 15 m de longueur pour un espacement vertical de 0,50 m. Les nappes de renfort ont une résistance de calcul comprise entre 25 et 100 kN/m selon leur position. Les nappes sont retournées au niveau du parement afin de séparer la fonction de soutènement de la fonction d'habillage assurée par le parement minéral en gabions.



12

© RÉGION RÉUNION



13

© EGIS



Compte tenu de la taille des matériaux choisis pour construire le remblai, des planches d'essais ont été réalisées pour valider le coefficient de réduction des résistances de calcul des nappes lié à l'endommagement. Les géosynthétiques tissés ayant une

#### 14- Vue d'ensemble de la digue côté Saint-Denis.

#### 14- General view of the dyke on the Saint-Denis side.

résistance de 100 à 400 kN/m sont installés entre deux couches de 50 cm d'épaisseur de remblai 0/300 mm semi-concassé (figure 13).

Les cages de gabions sont remplies de blocs de granulométrie 90/180 mm et posées au fur et à mesure des levées de remblais renforcés.

En deux sections distinctes de digues, des dispositifs de contrôle dans le temps des déformations longitudinales des géosynthétiques par fibre optique

sont mis en place lors de la construction du talus raidi. La quantité totale de gabions est de 103 000 m<sup>3</sup>. La quantité totale de géosynthétiques est de 1 148 000 m<sup>2</sup>.

Enfin, le remblai est progressivement mis en œuvre entre le talus raidi et le mur chasse-mer. Les contrôles de portance sont effectués au moyen d'une dynaplaque.

La quantité totale de remblais 0/300 mm et 0/80 mm est de 3 000 000 m<sup>3</sup>.

#### CONCLUSIONS

La Nouvelle Route du Littoral est un itinéraire routier hautement stratégique qui va relier le port de commerce de l'île de la Réunion à Saint Denis, sa capitale administrative et à son aéroport international.

Concepteurs et Entrepreneurs relèvent depuis plusieurs années de multiples défis liés au contexte environnemental, géologique et météorologique particulier de sa situation géographique isolée dans l'océan Indien. Ce chantier d'exception met en œuvre tous les jours des mesures conservatoires concrètes, mesurées et adaptées à chaque phase de travaux, visant à préserver l'écosystème marin.

Les techniques de construction utilisées et les moyens matériels et humains déployés sont exceptionnels, à la hauteur des enjeux du projet. □

### PRINCIPALES QUANTITÉS

**SOUILLE : 436 000 m<sup>3</sup>**

**NOYAU 1/500 kg : 2 351 000 m<sup>3</sup>**

**SOUBASSEMENT 0/300 mm : 1 300 000 m<sup>3</sup>**

**ENROCHEMENTS DE 200 kg À 5 t : 1 345 000 m<sup>3</sup>**

**BLOCS DE CARAPACE : 37 000 u**

**MUR CHASSE-MER : 175 000 m<sup>3</sup>**

**GABIONS : 103 000 m<sup>3</sup>**

**GÉOSYNTHÉTIQUES : 1 148 000 m<sup>2</sup>**

**REMBLAIS 0/300 mm ET 0/80 mm : 3 000 000 m<sup>3</sup>**

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Région réunion

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** Egis

**ENTREPRISE :** groupement Grands Travaux de l'Océan Indien / Société Bourbonnaise de Travaux Publics et de Construction / Vinci Construction Terrassement

#### ABSTRACT

### THE DYKES ON THE NEW COASTAL ROAD (NRL): FROM DESIGN TO EXECUTION

STEVEN LE CORRE, EGIS PORTS - CÉLINE DE PLASSE, EGIS ESE - STÉPHANE MAGNE, GROUPEMENT GTOI/SPTPC/VCT

The current road artery between the port and the capital of Reunion Island will soon be replaced by the New Coastal Road (NRL) undergoing construction. More than half of this road rests on dykes reclaimed from the Indian Ocean. There are numerous challenges involved in this exceptional project: performing works that will be sustainable for 100 years, and adapting to the complex geomorphology of the location (cliff, falling blocks, heterogeneity of foundation soils) and the capricious weather (cyclonic winds and swells, heavy rains) while protecting the ecosystems (coral banks, marine mammals, and the island's endemic birdlife). □

### LOS DIQUES DE LA NUEVA CARRETERA DEL LITORAL: DEL DISEÑO A LA REALIZACIÓN

STEVEN LE CORRE, EGIS PORTS - CÉLINE DE PLASSE, EGIS ESE - STÉPHANE MAGNE, GROUPEMENT GTOI/SPTPC/VCT

El eje viario que une el puerto y la capital de la isla de la Reunión será sustituido próximamente por la Nueva Carretera del Litoral (NRL, o Nouvelle Route du Littoral), actualmente en construcción. Más de la mitad de esta carretera reposa sobre diques ganados al Océano Índico. Este excepcional proyecto presenta múltiples desafíos: ofrecer una vida útil de 100 años a las construcciones realizadas, adaptación a la compleja geomorfología del emplazamiento (acantilado, caída de bloques, heterogeneidad del terreno de cimentación) y a una meteorología caprichosa (vientos y oleajes ciclónicos, fuertes precipitaciones), y protección de los ecosistemas (bancos de coral, mamíferos marinos, avifauna endémica de la isla). □



# RÉHABILITATION DU PONT FÉLIX HOUPHOUËT-BOIGNY PAR VOIE NAUTIQUE SUR LA LAGUNE ÉBRIÉ À ABIDJAN

AUTEURS : LUDOVIC PICARD, RESPONSABLE DU SECTEUR OUVRAGE D'ART, EIFFAGE INFRASTRUCTURES/BLIEP - NICOLAS DESCAMPS, DIRECTEUR DE CHANTIER, EIFFAGE INFRASTRUCTURES - EMMANUEL SIMON, CHEF DU SERVICE DÉVELOPPEMENT EXPORT & GRANDS PROJETS, SPIE FONDATIONS - FRÉDÉRIC MENUËL, DIRECTEUR, EGIS JMI - AMANDINE CHAMBOSSE, INGÉNIEURE CONFIRMÉE, EGIS JMI

**LE PONT FÉLIX HOUPHOUËT-BOIGNY, À ABIDJAN, A ÉTÉ CONSTRUIT DANS LES ANNÉES 50 AVEC UNE CONCEPTION AUDACIEUSE ET INNOVANTE POUR SON TEMPS, DANS UN ENVIRONNEMENT MARITIME PARTICULIÈREMENT CONTRAIGNANT ET AGRESSIF. SA RÉHABILITATION ASSOCIE TOUTES LES TECHNIQUES CONNUES DE CONSOLIDATION AVEC DES MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE SPÉCIFIQUES, ADAPTÉES AU CONTEXTE TRÈS PARTICULIER DES TRAVAUX DANS LA LAGUNE.**

## INTRODUCTION

Le pont Félix Houphouët-Boigny occupe une place particulière dans le développement économique de la ville d'Abidjan. Il se trouve sur la route historique qui relie l'intérieur du pays et ses ressources naturelles, au port de commerce qui a été construit de l'autre côté de la lagune Ébrié, sur l'île de Petit-Bassam (figure 2).

La première liaison a été effectuée par un pont flottant construit en 1929 qui avait deux voies de circulation routière et une voie ferrée métrique (figure 3).

Ce pont, appelé le "pont d'Abidjan" s'est rapidement révélé incapable de drainer l'intense circulation routière et ferroviaire.

En 1946, la décision a été prise de le remplacer par un pont moderne conçu pour répondre aux besoins en termes de circulation. Suite à un concours lancé en 1952, le projet sélectionné est celui de l'entreprise Boussiron et des architectes Badani, Roux-Dorlut, Lagneau et Weill. Le nouveau pont a été ouvert à la circulation en 1957. Depuis lors, deux autres ponts routiers ont été

**1- Vue en 3D de la solution de base pour les pieux.**

**1- 3D view of standard solution for piles.**

construits pour traverser la lagune : le pont Charles de Gaulle en 1967 et le pont Henri Konan-Bédié en 2014. Mais le pont Félix Houphouët-Boigny

demeure une liaison routière très importante et la seule liaison ferroviaire entre le port et le plateau continental. C'est pourquoi, 60 ans après sa réalisation, son entretien et sa rénovation sont des questions cruciales pour le développement économique d'Abidjan.

## LE PONT EXISTANT

Le pont existant a été principalement conçu par Nicolas Esquellan, directeur technique de la société Boussiron, avec la participation de Jean Kerisel pour la conception des pieux.





© GOOGLE MAPS  
2

les quatre autres sont inclinés à 15%. Au niveau de la route, le pont principal est complété par un pont d'accès de 3 travées à chaque extrémité. Au niveau de la voie ferrée, il y a seulement un pont d'accès à 2 travées du côté du Plateau.

### CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Pour les fondations au milieu de la lagune, on trouve successivement :

- 10 à 12 m d'eau ;
- 20 à 24 m de vases molles ;
- 17 à 18 m de vases dures ;
- Puis différents types de sables.

Il n'y a pas véritablement de substratum. Le niveau des fondations est donc de 55 à 60 m sous le niveau de l'eau (figure 4).

### 2- Localisation générale du pont.

3- Section transversale du pont flottant de 1929 - Revue Travaux n° 282 avril 1958.

4- Élévation latérale du pont existant, avec couches géologiques - Revue Travaux n° 282 avril 1958.

### 2- General location of the bridge.

3- Cross section of the 1929 floating bridge - "Travaux" magazine No. 282, April 1958.

4- Side elevation view of the existing bridge, with geological layers - "Travaux" magazine No. 282, April 1958.

### DESCRIPTION GÉNÉRALE

Le pont principal est un pont à deux niveaux (route dessus/rail dessous), qui traverse la lagune Ébrié, long de 372 m avec des travées de 2 x 8 x 46,5 m (figure 4).

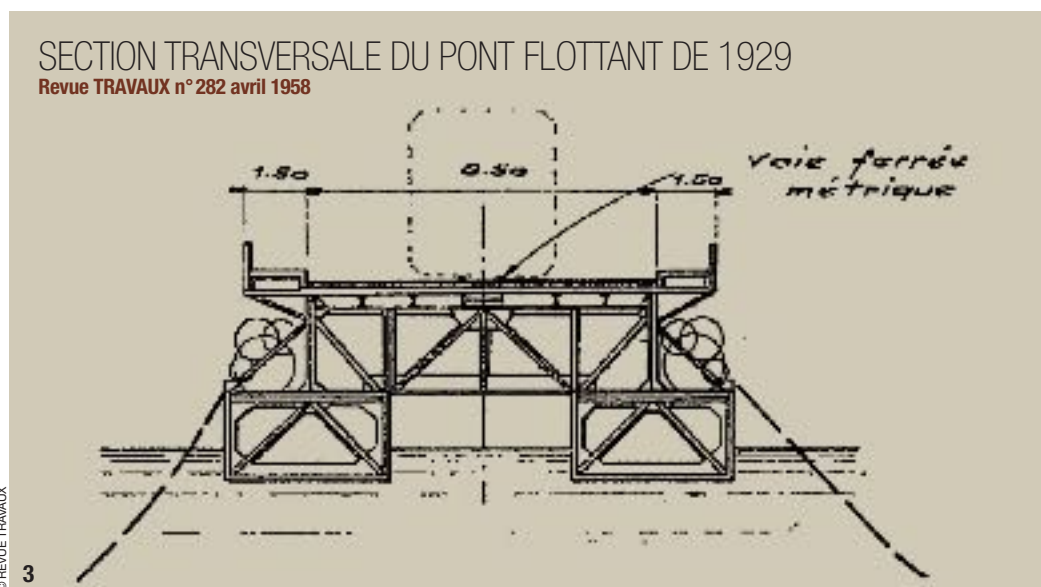
La structure des travées consiste en une poutre caisson en béton précontraint (figure 5), couvrant 41 m entre

les appuis. Le tablier supporte le trafic automobile sur une chaussée de 14 m de large sur la dalle supérieure et le trafic ferroviaire à l'intérieur des caissons (une voie par caisson).

Chacune des 7 piles est fondée sur 8 pieux de 1500 mm de diamètre et allant jusqu'à 70 m de profondeur. Quatre d'entre eux sont verticaux et

### RÉALISATION DES PILES ET PIEUX D'ORIGINE DANS LE SITE DE LA LAGUNE

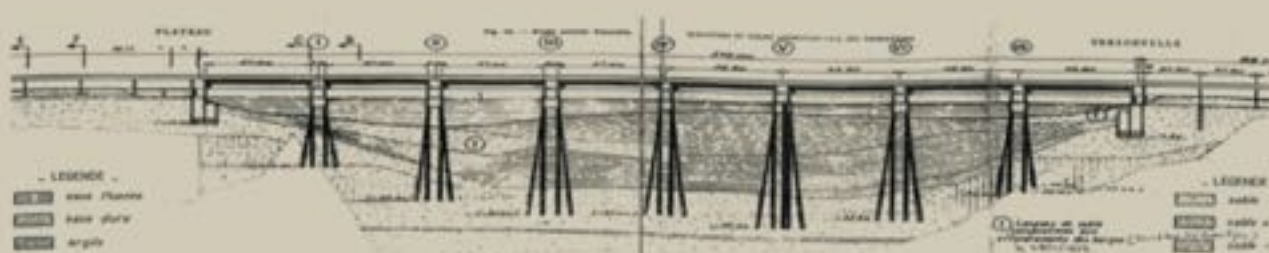
Chaque pilier est constitué d'une semelle reliant les 8 pieux et soutenant deux murs, chacun constituant l'appui d'une travée. Les semelles préfabriquées en béton précontraint ont été construites à terre et amenées sur site par flottaison. ▷



© REVUE TRAVAUX  
3

### ÉLÉVATION LATÉRALE DU PONT EXISTANT, AVEC COUCHES GÉOLOGIQUES

Revue TRAVAUX n° 282 avril 1958



© REVUE TRAVAUX  
4

Le forage des pieux a été effectué dans une gaine métallique de 1 500 mm de diamètre mise en place par vibrofonçage.

Une chemise préfabriquée en ciment de 1,35 m de diamètre extérieur a ensuite été mise en place à l'intérieur du forage.

Les éléments de chemise avaient une longueur unitaire de 6 m et ont été assemblés par une précontrainte composée de 28 câbles d'acier à haute résistance Ø 8 mm. Enfin, l'intérieur de la chemise a été rempli de béton et, après le retrait de la gaine extérieure en acier, un coulis de ciment a été injecté dans le vide entre la gaine et le trou de forage.

Les caissons des semelles de pile ont ensuite été remplis de béton afin de les relier aux pieux.

### CONSTRUCTION DU TABLIER D'ORIGINE À L'AIDE DE BARGES

Le tablier est composé de deux poutres-caissons indépendantes de 9,20 m de large. Chacune des poutres de 46,50 m de long et pesant 800 t a été entièrement préfabriquée à terre puis amenée sur site à l'aide de barges (figure 6).

La poutre a ensuite été posée sur des appuis temporaires tandis que les voiles porteurs étaient construits.

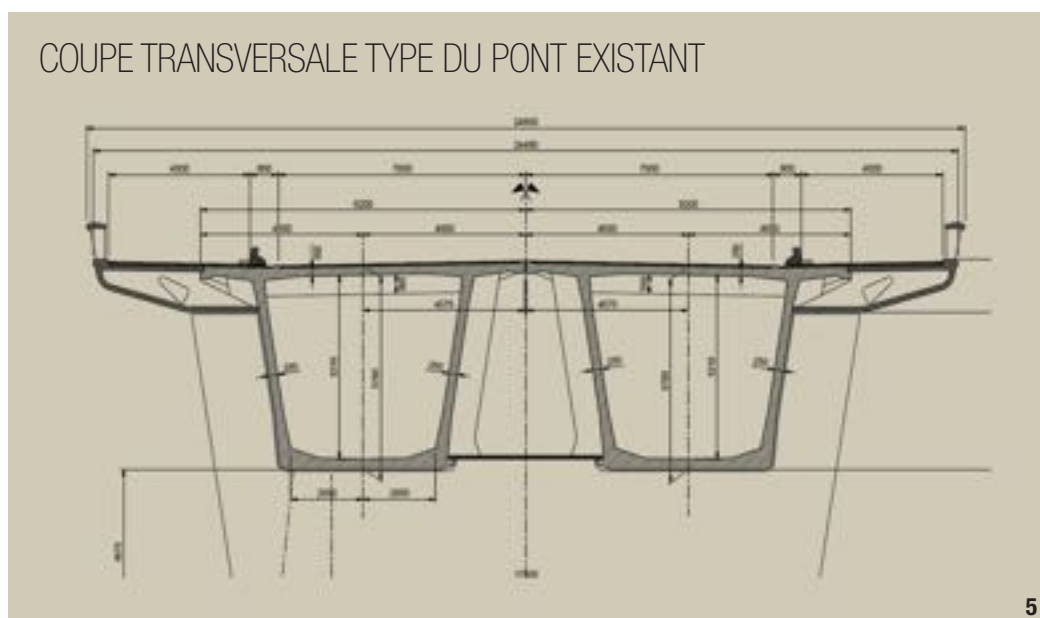
### LES PATHOLOGIES DE L'OUVRAGE ET LE PROJET DE RÉHABILITATION

#### PATHOLOGIES DES PIEUX

Lors des travaux de construction, l'effondrement de la berge du côté du Plateau a créé une langue de sable qui s'est glissée entre deux couches de limons.

La pile 4, située sur le devant de cette langue de sable, a dû faire face à des efforts latéraux supplémentaires assez importants.

Pour prendre en compte ce phénomène, il a été décidé de laisser en place systématiquement toutes les enveloppes en acier des pieux et de mettre en œuvre un renforcement substantiel des armatures des pieux. Les premiers dommages ont été observés en 1973, lorsque des fissures ont été constatées sur les piles 2 à 4. Les pieux les plus endommagés présentaient des fissures horizontales associées à des fissures verticales. Ces dommages observés ont conduit au renforcement d'un grand nombre (20) de pieux en 1974 avec un revêtement en béton époxy. Des plongées



5 © EGIS

effectuées en 1974 ont mis en lumière les faits suivants :

- Des morceaux de béton provenant des chemises préfabriquées avaient disparu, laissant apparents des câbles de précontrainte, dont plusieurs cassés avec des ruptures caractéristiques d'une corrosion fissurante sous tension ;
- À l'endroit de ces ruptures de précontrainte, le béton de remplissage était détérioré sur une épaisseur allant jusqu'à 14 cm de la paroi extérieure. Le diamètre du noyau sain était ainsi réduit à  $1,35 - (2 \times 0,14) = 1,07$  m et la section réduite à 63% de la valeur initiale.

En outre, l'efficacité de la couche de béton époxy de 1974 doit être considérée avec prudence, les effets collatéraux mentionnés précédemment ont certainement compromis le bon comportement des pieux.

#### 5- Coupe transversale type du pont existant.

#### 6- Remorquage d'un tronçon de 800 t - Annales ITBTP juin 1959.

#### 5- Typical cross section of the existing bridge.

#### 6- Towing an 800-tonne section - Annales ITBTP, June 1959.

#### PATHOLOGIES DES PILES

Le béton et le renforcement à la base des piles ont été particulièrement affectés par les embruns et les éclaboussures d'eau salée, entraînant des zones très dégradées avec des renforcements

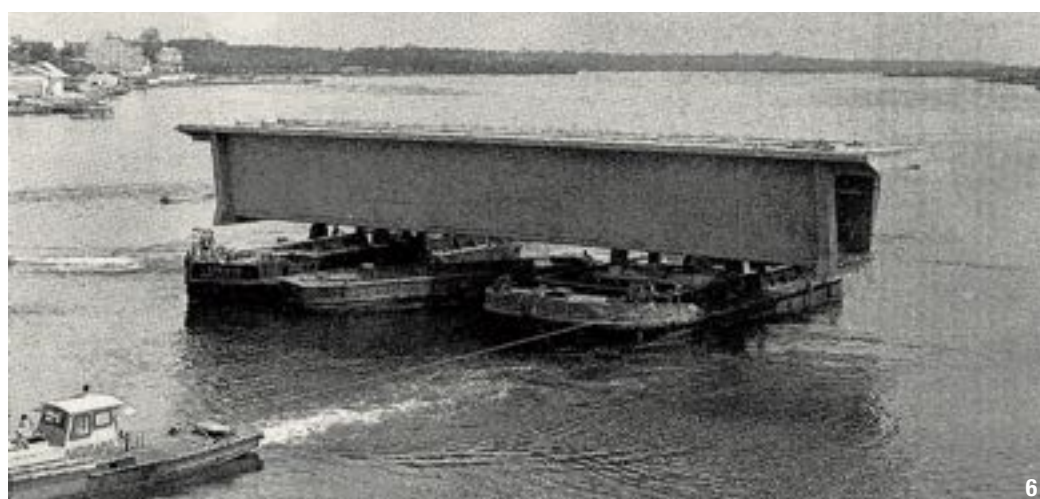
apparents et des pertes importantes du profilé en acier.

L'accumulation de gravats et de déchets sur le dessus des semelles a également contribué au développement de la végétation (figure 7).

#### PATHOLOGIES DU TABLIER

Dans l'ensemble, le tablier est en assez bon état étant donné son âge. Les principaux problèmes sont les suivants, les deux premiers étant les plus préoccupants :

- Des fissures inclinées ouvertes de 2 à 3 dixièmes de millimètre affectent l'âme des poutres caissons dans certaines zones près des appuis (figure 8). Elles apparaissent à 3 extrémités réparties sur 2 travées (travées P5-P6 et P6-P7 du caisson ouest). Le calcul a pu confirmer que ces fissures sont dues au fait que la précontrainte longitudinale exis-



6 © ANNALES DE L'ITBTP



7

© EIFFAGE



8

tante, placée dans les dalles inférieures et supérieures, ne parvient pas à comprimer l'âme près des ancrages de câble.

- Des fissures verticales dans la partie supérieure des porte-à-faux de console au niveau de l'insertion dans le tablier.
- Un faiçonnage systématique du béton en sous-face du hourdis supérieur, attestant des dommages causés par les gaz d'échappement des locomotives diesel (figure 9).
- Des fissures transversales sur la dalle inférieure, dues à une légère insuffisance de la précontrainte longitudinale.
- Au fil des ans, du fait des efforts de freinage et d'un comportement mal contrôlé des appuis fixes et mobiles existants sous variations de température, certaines travées sont entrées en contact les unes avec les autres.

En revanche, les études menées sur le béton du tablier ont montré que le vieillissement était bien contrôlé concernant la pénétration d'ions chlorures, l'alcali-réaction et la porosité. De plus, les gammagraphies effectuées sur les câbles de précontrainte du tablier n'ont pas montré de défauts dans l'injection ni de trace de corrosion.

## LE PROJET DE RENFORCEMENT DE 2016

Le projet de réhabilitation de l'ouvrage prévoyait une action lourde pour reprendre en sous-œuvre l'intégralité de la descente de charges sur les pieux existants, pour les soulager complètement, et plusieurs travaux de renforcement du tablier.

### 7- Base de pile.

### 8- Fissures obliques sur les âmes.

### 9- Craquellement sur la face inférieure du hourdis supérieur.

### 7- Pier base.

### 8- Oblique cracks on the webs.

### 9- Cracking on the underside of the top slab.

Pour les pieux, la solution de renforcement a consisté à réaliser de nouveaux pieux à côté des existants, qui supporteront des "poutres de transfert" de 32 m de long positionnées sous le tablier actuel, une poutre sous chaque

extrémité de chaque travée (à l'exception des culées).

La poutre de transfert venait enserrer le mur existant servant d'appui au tablier. L'ensemble constitué de la nouvelle poutre et du mur était solidarisé au moyen d'un grand nombre de barres de précontrainte (figure 1).

Des vérins plats placés entre les poutres et les semelles sur pieux permettent alors le transfert de charge. L'entreprise a proposé une adaptation par rapport à cette solution de base, décrite ci-après.

Pour le tablier, étant donné les insuffisances établies par le calcul en termes de flexion transversale et longitudinale du tablier et concernant la résistance aux forces de cisaillement, le projet a prévu la mise en place d'une précontrainte longitudinale additionnelle à l'intérieur du caisson, du béton projeté en sous-face du hourdis supérieur et des renfor-

cements par fibre de carbone sur le hourdis inférieur.

## DES MÉTHODES SPÉCIALEMENT ADAPTÉES À L'ENVIRONNEMENT LACUSTRE

### UNE VARIANTE SUR LE RENFORCEMENT DES PIEUX PERMETTANT DE SIMPLIFIER LES MÉTHODES

Une adaptation a été proposée par l'entreprise au démarrage des travaux. Dans la solution adaptée, de nouveaux pieux et des "poutres de transfert" sont également introduits, mais le tablier est directement placé sur deux poutres de transfert, sans passer par les appuis et les voiles existants (figure 10).

Les poutres de transfert sont placées sur le côté extérieur de chacune des piles, à environ 1,5 m de la position d'appui précédente, créant un raccourcissement de 3 m des travées et un allongement de 1,5 m des abouts de tablier en porte-à-faux de 1,5 m.

Cette adaptation permet trois optimisations :

- Plus de nécessité de réaliser la poutre de transfert entre les deux voiles existants, dont la mise en place par voie nautique aurait été délicate ;
- Plus besoin de réaliser de nombreux trous dans les murs existants pour le passage de barres de précontrainte ;
- Enfin, les nouveaux pieux n'ont pas à supporter le poids des semelles et des murs d'appui existants, mais seulement le poids de la poutre de transfert et du tablier.



9

© EIFFAGE



© EIFAGE  
**10**



© EIFAGE  
**11**

En revanche, une nouvelle nervure doit être créée sur la face externe du caisson, semblable à l'existante, pour permettre la transmission des efforts du tablier aux poutres de transfert via de nouveaux appareils d'appui à pot. Par ailleurs, les groupes initialement prévus avec 3 pieux de diamètre 2 m ont été remplacés par 4 pieux de diamètre 1,50 m.

Enfin, l'épaisseur de la semelle en tête de pieu a pu être optimisée de 2 m à 1,60 m.

Concernant le tablier, le renforcement du tablier dans la solution alternative est identique à celui de la solution de base, avec les adaptations suivantes :

- D'une part, la réduction de la longueur de travée de 3,00 m amènera une optimisation des quantités et du tracé de la précontrainte de renforcement longitudinal ;
- D'autre part, la longueur accrue en porte-à-faux aux extrémités de chaque poutre caisson nécessitera d'accroître son renforcement.

### LA DÉLICATE RÉALISATION DES PIEUX PAR VOIE NAUTIQUE, À PROXIMITÉ DES PIEUX EXISTANTS

Pour éviter tout dommage sur le pont existant, il a été décidé que les nouveaux pieux ne devaient pas être plus profonds que les existants.

En outre, les nouveaux pieux doivent être installés de façon à éviter tout conflit avec les pieux existants (figures 11 et 12a).

En effet la portée des poutres de transfert atteint 28,54 m pour une longueur totale de 32,17 m dans la plupart des cas, et plus encore pour P5 qui possède un neuvième pieu existant à éloigner de la semelle sur pieu existante d'au moins 0,5 m.

En outre, une technique innovante a été mise en œuvre pour augmenter la capacité des pieux et en diminuer le nombre :

Étant donné la géologie locale, les charges sont principalement transférées au sol par la partie inférieure du pieu ; la friction est seulement prise en compte pour les derniers 10 à 20 m de sable modérément dense. Au lieu d'augmenter le diamètre du pieu ce qui aurait eu une influence directe sur la capacité portante finale des pieux, le concepteur a proposé une solution alternative basée sur un ensemble de pieux forés et de colonnes de jet-grouting.

Après avoir foré et bétonné les nouveaux pieux, les colonnes injectées de coulis de ciment sont réalisées sous la partie basse des pieux.

Cela accroît la capacité d'appui des pieux forés et permet une économie de matériaux dont les renforcements en acier et le béton. Un test préalable des pieux devrait être réalisé sur la rive sud de la rivière pour vérifier les paramètres de conception de cette technique de fondation.

**10 & 11- Vue en 3D de la solution variante pour les pieux.**

**12a- Vue en coupe transversale de la solution variante pour les pieux.**

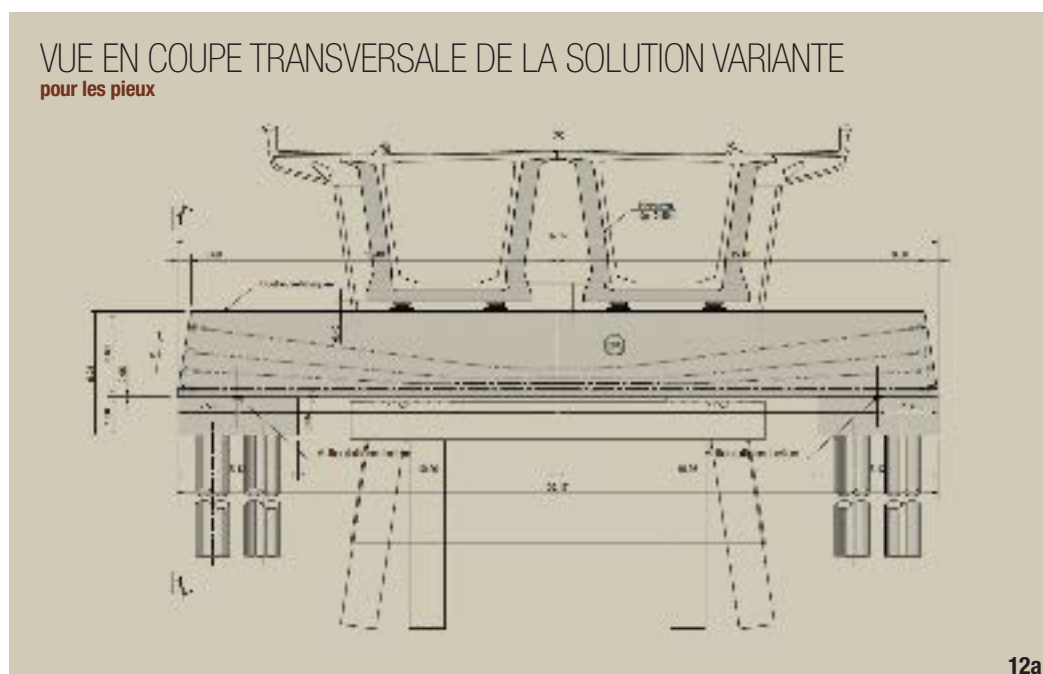
**10 & 11- 3D view of variant solution for piles.**

**12a- Cross-section view of the variant solution for piles.**

et comprend une foreuse Bauer BG40 et une grue de service (capacité de 150 t). Après avoir positionné le ponton près du pilier existant, l'opération de forage initial est menée à l'aide de tubes en acier permanents jusqu'à la couche de sable dense. Ce tubage est nécessaire pour éviter les venues d'eau et offrir un appui latéral dans les couches de limon supérieures. Le tubage permanent apportera également une protection contre la corrosion pour les armatures en acier à cette profondeur. Après avoir atteint la couche de sable dense, le forage est encore poursuivi jusqu'à la cote finale. La profondeur des pieux ira de 40 à 70 m sous le niveau de la lagune en fonction de la profondeur des couches de sables et des pieux existants.

Les opérations sur les pieux dans la rivière sont réalisées en deux étapes. La première étape est l'installation de pieux forés. L'équipement pour les pieux opère à partir d'un grand ponton

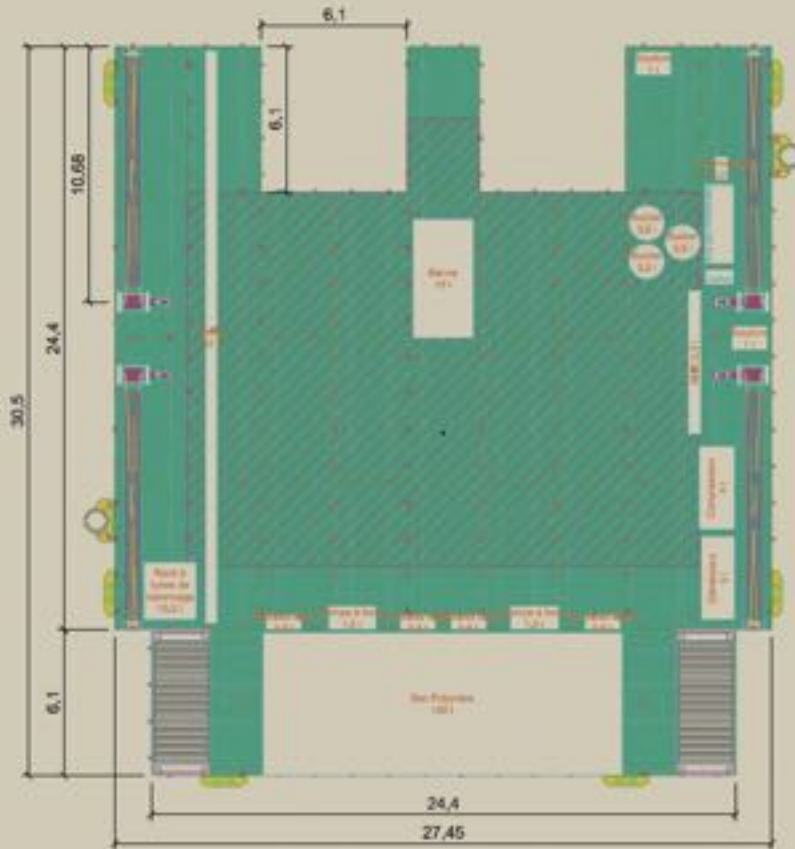
Une fois que la longueur prévue est atteinte, les cages d'armatures sont soulevées pour être mises dans le forage, cette opération est suivie du bétonnage au moyen de conduites à trémie.



VUE EN COUPE TRANSVERSALE DE LA SOLUTION VARIANTÉ pour les pieux

**12a**

## VUE EN PLAN DU PONTON FLOTTANT



12b- Vue en plan du ponton flottant.

12c- Vue en coupe du ponton flottant.

13- Vue en 3D des caissons préfabriqués pour les semelles.

12b- Plan view of the floating pontoon.

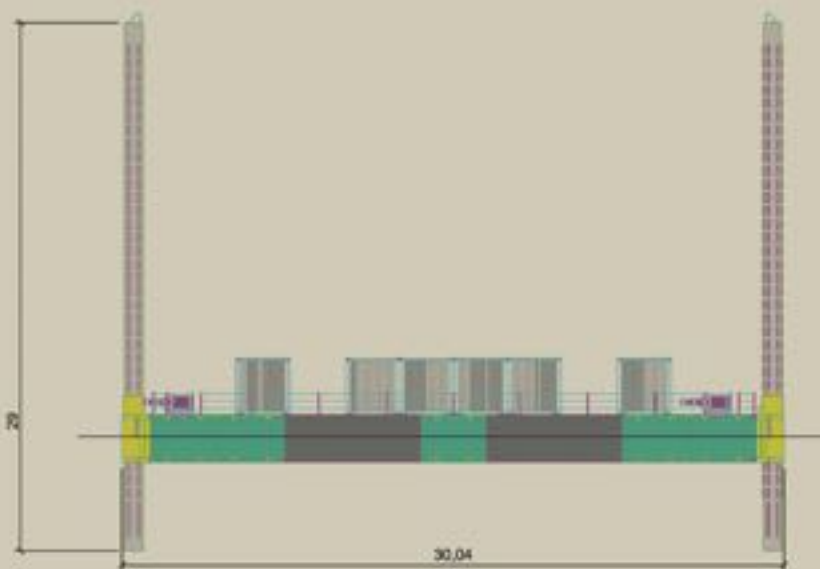
12c- Cross-section view of the floating pontoon.

13- 3D view of prefabricated box girders for foundation slabs.

© SPIE FONDATIONS

12b

## VUE EN COUPE DU PONTON FLOTTANT



Ces opérations sont répétées pour chacun des 4 pieux situés de part et d'autre du pilier existant. Une fois que les 4 pieux sont bétonnés, le ponton avec l'équipement pour les pieux est transféré au prochain pilier.

Pour la deuxième étape un autre ponton est placé près des nouveaux pieux. La première auscultation sonore des pieux est réalisée puis les tiges de forage pour l'injection de coulis de ciment sont descendues sur la totalité de la longueur des tubes de réservation et les colonnes de jet-grouting sont réalisées sous la partie basse des pieux (figures 12b et 12c).

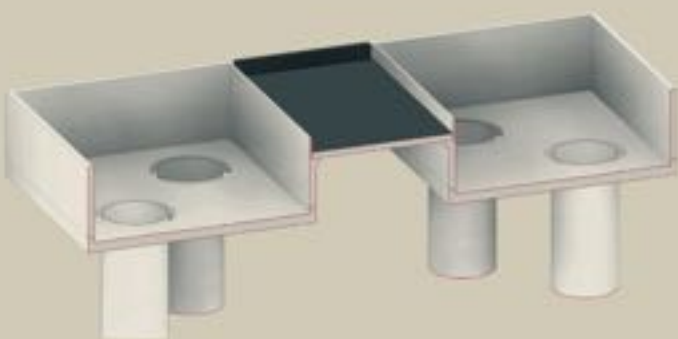
### DES SEMELLES PRÉFABRIQUÉES POUR FACILITER LA MISE EN ŒUVRE

Chaque semelle sur pieux sera constituée de 3 caissons préfabriqués qui seront utilisés comme coffrages non participants (figure 13a) :

© SPIE FONDATIONS

12c

## VUE EN 3D DES CAISSONS PRÉFABRIQUÉS pour les semelles



© EIFFAGE

13a



13b

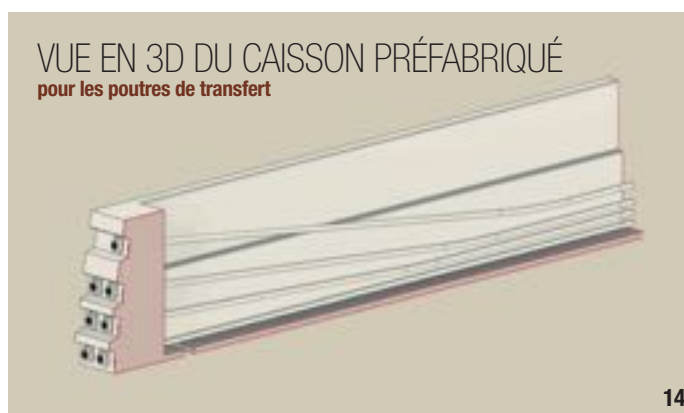
- Deux caissons principaux - un sur chaque groupe de deux pieux ;
- Un caisson intermédiaire pour relier les deux premiers.

Les principaux caissons sont installés sur des supports métalliques qui sont suspendus aux nouvelles gaines des pieux (figure 13b).

### DES POUTRES DE TRANSFERT PRÉCONTRAINTEES ARTICULÉES SUR LES SEMELLES ET MISES EN PLACE PAR BARGE

La section transversale des poutres est de 2 m de large x 3,60 m de haut et elle est précontrainte avec six câbles de classe 31 T15S et huit de classe 27 T15S 1 860 MPa.

La liaison entre les poutres et les semelles a été prévue par des articulations en béton communément appelées "articulation Freyssinet". En effet, étant donné la disposition des pieux, l'encastrement des poutres dans les semelles aurait entraîné des moments de flexion excessifs. Les poutres de transfert sont préfabriquées, installées, mises en charge selon les étapes suivantes :



VUE EN 3D DU CAISSON PRÉFABRIQUÉ pour les poutres de transfert

14

© EIFFAGE

- 1- Préfabrication à quai d'une poutre de section transversale en U (figure 14). Seules les deux extrémités (zone d'ancrage de la précontrainte) de la poutre sont pleines.
- 2- Installation de l'élément préfabriqué sur une barge avec deux poutres métalliques, en porte-à-faux par rapport au quai.
- 3- Transport et installation de l'élément préfabriqué en rive des nouvelles semelles sur pieux.

14- Vue en 3D du caisson préfabriqué pour les poutres de transfert.

14- 3D view of prefabricated box girder for transfer beams.

- 4- Mise en tension des 2 premiers câbles de précontrainte.
- 5- Achèvement de la poutre de transfert avec le coulage du béton dans l'élément préfabriqué.
- 6- Mise sous tension de 6 autres câbles de précontrainte.
- 7- Transfert de 50% du poids du tablier avec des vérins hydrauliques.
- 8- Mise sous tension des 6 câbles de précontrainte restants.
- 9- Transfert des 50% restants du poids du tablier à l'aide de vérins hydrauliques.
- 10- Mise sur appuis définitifs.

### CONCLUSIONS

Le pont Félix Houphouët-Boigny a été construit avec une conception audacieuse et innovante pour son temps, dans un environnement particulièrement contraignant et agressif. Sa réhabilitation associe toutes les techniques connues de réparation et renforcement avec des modalités de mise en œuvre spécifiques, adaptées au contexte très particulier des travaux dans la lagune. □

### PRINCIPALES QUANTITÉS

- LINÉAIRE DE PIEUX : 4 728 m**
- BÉTON POUR SEMELLES ET POUTRES DE TRANSFERT : 1 574 m<sup>3</sup>**
- PRÉCONTRAINTE DES POUTRES DE TRANSFERT : 260 t**
- PRÉCONTRAINTE LONGITUDINALE ADDITIONNELLE : 60 t**
- RENFORCEMENT PAR FIBRE DE CARBONE : 1 000 m<sup>2</sup>**
- BLOQUEURS DYNAMIQUES : 36 u**
- BÉTON PROJETÉ : 184 m<sup>3</sup>**

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE : Ministère des Infrastructures économiques de Côte d'Ivoire**
- MAÎTRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ : Ageroute - Agence de Gestion des Routes de Côte d'Ivoire**
- AMO/CONCEPTEUR EN PHASES APD/DCE/JO : Egis Jmi**
- MAÎTRE D'ŒUVRE TRAVAUX : Sgi / Setec Tpi / letf**
- ENTREPRISE : groupement Eiffage Infrastructures / Spie Fondations**

### ABSTRACT

#### RENOVATION OF FÉLIX HOUPHOUËT-BOIGNY BRIDGE WITH FLOATING EQUIPMENT ON THE ÉBRIÉ LAGOON IN ABIDJAN

LUDOVIC PICARD, EIFFAGE - NICOLAS DESCAMPS, EIFFAGE - EMMANUEL SIMON, SPIE FONDATIONS - FRÉDÉRIC MENUJEL, EGIS JMI - AMANDINE CHAMBOSSE, EGIS JMI

The Félix Houphouët-Boigny Bridge in Abidjan is a two-level bridge (road above/rail below) crossing the Ebrié lagoon. The bridge, 372 metres long and with 2x8x46.5-metre spans, was built in 1956. Following the landslide of a layer of sand which generated horizontal forces, large cracks appeared on the piles, and they gradually became worse. In addition, the pier concrete gradually deteriorated due to the saline environment, and the deck suffered from ageing effects. The strengthening solution adopted involves creating new piles alongside the existing ones, to support transfer beams built under the existing deck. The weight of the bridge is then transferred to the new beams and piles by jacking. The deck will be strengthened by a set of recognised techniques. □

#### REHABILITACIÓN DEL PUENTE FÉLIX HOUPHOUËT-BOIGNY POR VÍA NÁUTICA SOBRE LA LAGUNA EBRIE, EN ABIYÁN

LUDOVIC PICARD, EIFFAGE - NICOLAS DESCAMPS, EIFFAGE - EMMANUEL SIMON, SPIE FONDATIONS - FRÉDÉRIC MENUJEL, EGIS JMI - AMANDINE CHAMBOSSE, EGIS JMI

El puente Félix Houphouët-Boigny de Abiyán es un puente de dos niveles (carretera superior/ferrocarril inferior) que atraviesa la laguna Ebrié, de 372 m de longitud con luces de 2x8x46,5 m, construido en 1956. Tras el deslizamiento de una capa de arena que generó esfuerzos horizontales, aparecieron importantes fisuras en los pilotes, que se han agravado con el tiempo. Además, el hormigón de los pilotes se ha deteriorado progresivamente a causa del ambiente salino y el tablero presenta efectos de envejecimiento. La solución de refuerzo consiste en instalar nuevos pilotes al lado de los existentes, que sostendrán vigas de transferencia construidas bajo el tablero existente. A continuación, el peso del puente se transferirá a las nuevas vigas y los nuevos pilotes mediante cilindros hidráulicos. El tablero se reforzará utilizando un conjunto de técnicas reconocidas. □





# PRÉSERVONS L'AVENIR



Réalisation de casiers de rétention de sédiments de la retenue de Vezins par murs poids gabions, pour empêcher la pollution de la Baie du Mont Saint Michel.

Dans un contexte sensible, marqué par des phénomènes d'inondations fréquentes et de forte intensité, Maccaferri apporte son expérience et sa capacité d'innovation dans l'aménagement d'ouvrages hydrauliques de haute technicité.

Ses solutions sont pensées pour protéger les populations et les infrastructures autour d'une double préoccupation : s'intégrer au cadre naturel et réduire l'impact carbone du site. Une réponse adaptée à la dimension financière et écologique de chaque projet.

**MACCAFERRI**

Isigny-le-Buat, Manche

Matelas de gabions double torsion : 7000 m<sup>3</sup>  
Gabions double torsion : 8500 m<sup>3</sup>

[www.maccaferri.com/fr](http://www.maccaferri.com/fr)